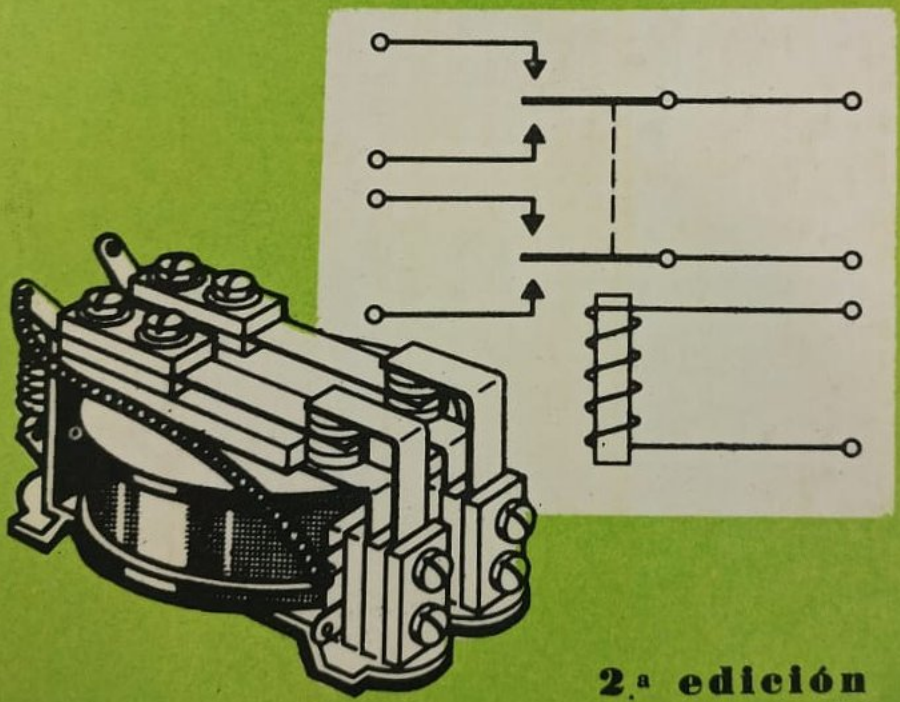
RELAYS

Principios básicos y sus aplicaciones

HARVEY POLLACK



2.ª edición

EDITORIAL GLEM. S. A.

RELAYS

Principios básicos y sus aplicaciones

HARVEY POLLACK M. A.

Faculty, New York
Institute of Technology
Department of Physics
Forest Hills High School
Author of: Photoelectric Control
Experimental Electronics for Boys

RELAYS

Principios básicos y sus aplicaciones

2ª EDICIÓN

EDITORIAL GLEM S. A.
BUENOS AIRES ARGENTINA

Original english edition published by John F. Ridder Publisher, Inc.

© March 1962 - All rights reserved

This book or any part thereof may not be reproduced in any form or in any language without permission of the publisher.

Library of congress catalog card number 62-13167

Título original en inglés

BASIC PRINCIPLES AND APPLICATIONS OF RELAYS

por HARVEY POLLACK

Queda hecho el depósito que marca la ley 11.723

© by Editorial Glem S. A.

Primera edición: Buenos Aires 1964
Segunda edición: Buenos Aires 1969

IMPRESO EN LA ARGENTINA
PRINTED IN ARGENTINA

Este libro se terminó de imprimir en los Talleres Gráficos Dulau S.R.L., Rauch 1849, Buenos Aires, en el mes de enero de 1969

Prefacio

El extraordinario avance tecnológico se ha llevado a cabo por la colaboración de científicos, ingenieros, matemáticos y técnicos que fueron desarrollando los nuevos principios y aplicaciones concernientes a la electrónica. Un resultado de esto es la continua demanda de nuevas fuentes de conocimientos, por parte de personal técnico competente, en las ramas en que se desempeñan.

El relay es un componente básico en la actual industria electrónica y común en la mayoría de sus aplicaciones, ya se trate de circuitos de control o de complejos instrumentos. Es imprescindible entonces que estos importantes aparatos puedan ser comprendidos para que su uso se realice en forma inteligente, ya sea en trabajos de naturaleza técnica o científica.

La selección del material que forma este libro es el resultado de una serie de conferencias dadas por los miembros del New York Institute of Technology y por los representantes más sobresalientes de la industria electrónica. Fueron utilizadas muchas sugerencias útiles que formularon los comités que tuvieron a cargo la revisión del material, y muchos conceptos vitales fueron incorporados por este hecho. El libro se ha desarrollado según el siguiente plan: fundamentos funcionales de la construcción del relay; disposición de los contactos para relays simples, dobles y múltiples; circuitos para relays de CC; clasificación, funcionamiento y tipos de relays para circuitos electrónicos; clasificación, funcionamiento y tipos de

relays en circuitos de tiempo; factores que controlan la selección de un relay, y consideraciones acerca de la aplicación de los relays. Todo esto forma un sólido conjunto que permite la presentación, discusión y evaluación de las importantes ideas relativas a la comprensión de las teorías y características de los aparatos que utilizan relays.

Agradecemos la asistencia que nos ha brindado el director del New York Institute of Technology, en la preparación del manuscrito y a Harvey Pollack en su calidad de autor.

New York, N. Y.
Marzo 1962.

ALEXANDER SCHURE

Contenido

Prefacio V

1. **Fundamentos electromagnéticos de la construcción del relay** 1

La función del relay - Partes básicas del relay - Alimentación de la bobina del relay - Contactos de los relays - Corriente diferencial - Cuestionario.

2. **Distribución de los contactos del relay** 12

Interruptor simple, normalmente abierto. Una aplicación típica para contacto interruptor simple NC - Relay inversor simple - Relays interruptores dobles - Relays inversores dobles - Acción retentiva en la doble inversión - Configuración de contactos pocos usuales - Cuestionario.

3. **Circuitos para relays de CC** 31

Circuito básico a batería - Uso de la CA rectificada para el funcionamiento de relays de CC - Rectificador invertido - Rectificadores puente para relays de CC - Polarización del relay de CC - Relays selectivos - Multiplicadores de voltaje para relays - Protección de los contactos - Circuitos electrónicos para relays - Cuestionario.

4. **Circuitos de relays electrónicos** 51

Clasificación de relays electrónicos - Revisión de los conceptos fundamentales del thyratrón - Relay electrónico con thyratrón - Relay a thyratrón sin retención - Relay con thyratrón de cátodo frío - Relay electrónico transistorizado - Relays operados con luz - Relay combinado con elemento fotoresistivo y con thyratrón - Relay con válvula de vacío combinado con elemento fotoemisivo - Relay a transistor combinado con elemento fotovoltaico - Uso del sonido como fuente de disparo - Uso de señales de radio como disparo - Cuestionario.

5. Relays en circuitos de tiempo 73

Clasificación de los circuitos de tiempo - Principios fundamentales del retardo de tiempo electrónico - Retardos de tiempo aproximados en la práctica - Limitación del retardo de tiempo a condensadores - Principios de los relays electrónicos con retardo - Seccionador de tiempo para CC - Timmer de precisión para largos intervalos - Relay conector con retardo de tiempo para CA - Relays de retardo térmico - Cuestionario.

6. Consideraciones en la selección y aplicación de los relays 90

Factores que controlan la selección de un relay - Sistemas de contactos - Sistema actuador - Condiciones ambientales - Requerimientos físicos. - Cuestionario.

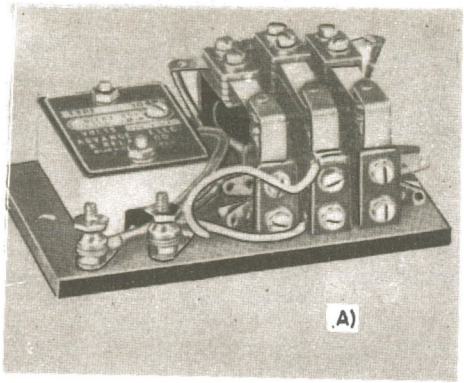
Índice 103

1. Fundamentos electromagnéticos de la construcción del relay

La función del relay

Cuando se manipula el interruptor de la luz, se controla la corriente que circula por la lámpara, o por cualquier otro artefacto eléctrico. La posición SI-NO de la llave, permite que con el solo movimiento de los dedos toda la corriente de carga de un aparato pueda circular a través de los contactos del interruptor. Supongamos ahora que deseamos tener una llave localizada a cierta distancia de donde se hallan los contactos SI-NO del interruptor anterior. Imaginemos además que deseamos usar cables finos entre esa llave y los contactos remotos. En otras palabras, deseamos que por esos alambres que van a los contactos SI-NO circule una corriente pequeña, y que ésta gobierne el artefacto bajo control. Para poder cumplir con este requisito se necesita introducir en el circuito un relay.

Un relay (Fig. 1-1) es un aparato operado por una variación de las condiciones de un circuito para hacer funcionar uno o más aparatos en el mismo o en otro circuito eléctrico. En términos más generales, un relay es un interruptor que permite controlar un circuito sin manipular los contactos directos de ese circuito. Los



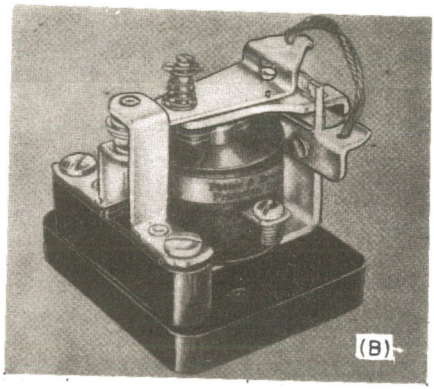


Fig. 1-1. Relays típicos.
(A) Relays Advance.
(B) Potter y Brumfield.

relays tienen múltiples aplicaciones, algunas de éstas, son el control remoto, la apertura y cierre de circuitos de potencia con pequeños interruptores; el control de circuitos de alto voltaje con llaves para bajo voltaje; el uso de válvulas electrónicas y gaseosas para controlar circuitos y muchas otras aplicaciones.

Cuando nos enteramos de que los relays son componentes de radar, de los controles automáticos de incendios en fábricas, naves y aviones, de las computadoras electrónicas, de sistemas de suministros, nos damos cuenta de que éstos son extremadamente importantes y que es necesaria su exacta comprensión para emplearlos en forma inteligente.

Partes básicas del relay

Un relay está formado por cuatro partes básicas (Fig. 1-2 [A]): una bobina de alambre, un núcleo de hierro alrededor del cual

está devanada la bobina, una armadura consistente en una planchuela de hierro que puede ser atraída por el núcleo cuando circula corriente por la bobina, y uno o más juegos de contactos que se mueven, uno con respecto del otro, cuando circula corriente por la bobina (Fig. 1-2 [B]). El símbolo esquemático del relay es el que se observa en la Fig. 1-2 (C). Además de esto, la mayoría de los relays poseen un resorte que mantiene a la armadura en una posición determinada cuando no pasa corriente. En

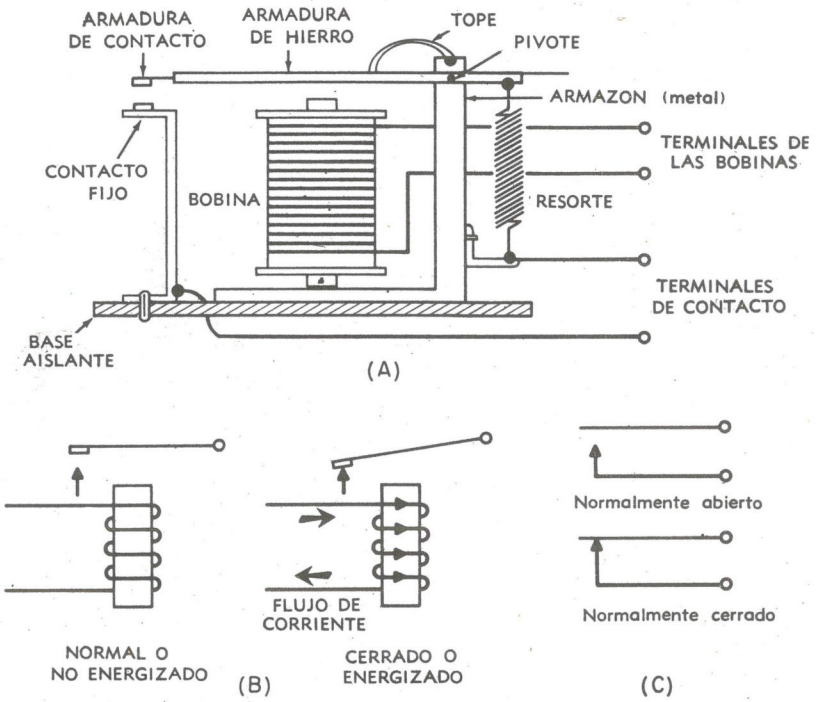


Fig. 1-2. Relay: (A) Construcción básica; (B) Funcionamiento; (C) Símbolo.

esta condición se dice que el relay está "normal" o "no-energizado". En su forma más simple, el contacto móvil forma parte de la armadura, mientras que el segundo contacto está fijo en el armazón del relay, de forma tal que ambos contactos están en circuito abierto cuando el relay se halla no-energizado. Cuando la corriente pasa por la bobina, la armadura es atraída por el núcleo en forma tal que ambos contactos se tocan, cerrando el circuito y permitiendo el funcionamiento de la carga a la cual se hallan conectados.

Este sistema de contacto tan simple se conoce con el nombre de "un polo, una posición-Normalmente abierto", o como "interruptor simple-NA", que puede abreviarse "1C-LP-NA". El término "interruptor simple" deriva del hecho de que sólo hay un contacto fijo que toca al móvil unido a la armadura; "una posición" indica que la única alternativa de contacto que se presenta es la anterior, es decir, el movimiento en una sola dirección.

Alimentación de la bobina del relay

Cuando estudiamos los catálogos de los fabricantes de relays, vemos que las bobinas de CC están caracterizadas en dos formas distintas. En algunos casos se las clasifica en términos del voltaje necesario para su operación; en otros casos se las clasifica en términos de su resistencia y de la corriente de trabajo.

Cuando el fabricante especifica el voltaje que debe aplicarse a la bobina para que el relay funcione en forma conveniente, está

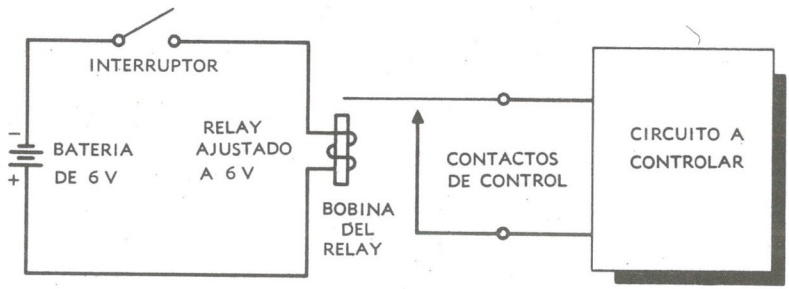


Fig. 1-3. Conexión en paralelo de un relay en un circuito.

en efecto, diciendo ciertas cosas y suponiendo otras. Al establecer el voltaje, el fabricante nos está diciendo que el relay debe ser conectado en paralelo con una fuente de alimentación de ese valor estipulado (Fig. 1-3). Al mismo tiempo está suponiendo que esa fuente permitirá circular la corriente necesaria para el funcionamiento de la bobina. Esta es una forma de decir que la fuente debe tener una resistencia interna lo suficientemente baja para suministrar la potencia que requiere el relay.

Por ejemplo, un relay determinado puede ser para funcionar con 6 volts de CC. Podemos preguntarnos luego: ¿Funcionará este relay con pilas de linterna o necesitará un acumulador?

La respuesta a esta pregunta depende enteramente de la "po-

tencia" del relay. Este es un dato que no siempre especifican los fabricantes, pero que puede ser determinado por otras características que son comunes en las especificaciones de fábrica. A veces la fábrica puede establecer: "Potencia 2 ½ watts CC". Es decir, para un trabajo eficiente el relay tendrá un consumo de 2 ½ watts.

Una batería plomo-ácido puede suministrar 200 amperes. La potencia disponible en este tipo de acumulador es:

$$\text{Potencia} = \text{voltaje} \times \text{corriente} = 6 \times 200 = 1.200 \text{ watts}$$

Se ve claramente que hay potencia más que suficiente para que trabaje el relay. Naturalmente que si la resistencia del relay es la correcta, sólo habrá un consumo de 2,5 watts, aun cuando la fuente tenga una capacidad muchas veces superior a esta potencia. La resistencia del relay se determina fácilmente:

$$\text{Resistencia} = (\text{voltaje})^2 \div \text{potencia} = (6)^2 \div 2{,}5 = 14{,}4 \text{ ohms}$$

Las pilas de linterna del tipo lapicera, pueden trabajar a una corriente máxima de 20 mA, o sea 0,02 amperes. Estas pilas agrupadas en baterías pueden dar una potencia de:

$$\text{Potencia} = 6 \text{ volts} \times 0{,}02 \text{ amperes} = 0{,}12 \text{ watts}$$

Es evidente que dicha batería no puede ser usada para alimentar este relay. Sin embargo, buscando en los catálogos de fabricantes, posiblemente pueda hallarse alguno, pequeño y liviano —ciertamente que no es un relay de potencia— que pueda accionarse con pequeñas pilas de linterna. Por lo tanto, al seleccionar un relay operado por voltaje, es necesario recordar que éste debe funcionar en paralelo con su fuente de alimentación, y que ésta debe suministrar la suficiente potencia para su correcta operación.

Muchas aplicaciones requieren que la bobina del relay se conecte en serie con otro dispositivo, tal como una válvula electrónica o una resistencia de carga. Estos relays son más para trabajar con corriente que para hacerlo con voltaje; en este caso, la condición primordial está dada por la mínima corriente necesaria para producir una acción efectiva. Igualmente importante es la resistencia de la bobina del relay.

Dicha bobina se encuentra en serie con algún otro aparato, y juega por lo tanto un papel importante en la determinación de la corriente total que ha de circular por el circuito serie. Consideremos un circuito (Fig. 1-4 [A]) en el cual una batería B1 produce una circulación de corriente en una resistencia especial, R. Esta

resistencia es sensible a la temperatura, esto significa que el valor de su resistencia disminuye al aumentar la temperatura. Cuando el aire alrededor de R se calienta, la corriente que circula por el circuito aumenta. Supongamos que necesitamos accionar una lámpara cuando la corriente en R es de 10 mA, para indicar que se

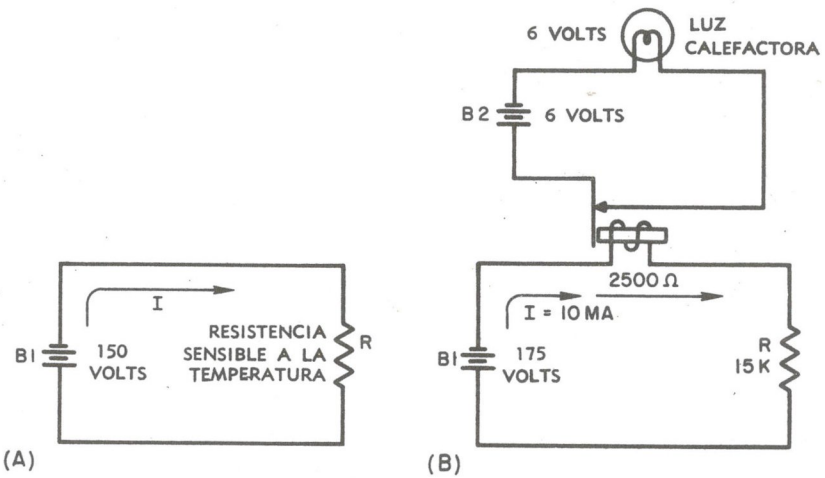


Fig. 1-4. (A) Circuito con resistencia sensible a la temperatura; (B) Relay colocado en un circuito que actúa cuando la resistencia alcanza una cierta temperatura.

ha alcanzado una cierta temperatura. ¿Qué tipo de relay podríamos usar? ¿Cómo debe ser conectado en el circuito? ¿Qué efecto tendrá sobre las características del circuito?

Dado que el relay debe ser sensible a cambios de corriente, su bobina deberá estar conectada en serie con el circuito por el cual circula la corriente de control (Fig. 1-4[B]). Observando un catálogo de características de relays, podemos seleccionar uno que opere cuando la corriente por su bobina sea 10 mA. Posiblemente, acompañando al dato de la corriente estará indicada su resistencia. Supongamos que ésta sea 2.500 ohms.

Si bien la corriente es la correcta, debemos primero averiguar qué efecto producirán los 2.500 ohms colocados en serie con la resistencia sensible a la temperatura. Primero determinamos la resistencia de R a la temperatura deseada, sin el relay colocado. Esta es:

$$\text{Resistencia} = \frac{\text{Voltaje}}{\text{corriente}} = \frac{150}{0{,}01} = 15.000 \text{ ohms}$$

La resistencia de la bobina es exactamente 1/6 de 15.000 ohms, que quedará sumado a la resistencia del circuito. Si necesitamos que circulen 10 mA cuando la resistencia de R sea 15.000 ohms, será necesario aumentar el voltaje inicial aplicado en 1/6. Entonces, 150 × 1/6 = 25 volts que deben ser agregados al antiguo voltaje que alimentaba solamente R, como puede observarse en el diagrama esquemático. Esto significa que la caída de voltaje sobre el relay es de 25 volts y que la caída sobre R es de 150 volts, igual que antes de conectar el relay. En esta forma el circuito sensible a temperatura no es afectado por la incorporación del relay.

En síntesis, cuando la temperatura de R es más baja que el valor especificado, la corriente a través del relay será más baja que la de régimen; cuando la temperatura aumenta a cualquier valor por encima del especificado, la corriente excederá los 10 mA y se cerrará el relay, encendiendo la luz.

Si un relay de CC para 120 volts se conecta a una línea de corriente alternada, comenzará a zumbar, pero su armadura no quedará permanentemente adherida al núcleo. La presencia de un núcleo de hierro en la bobina transforma a esta última en una inductancia. La inductancia tiene poco efecto en corriente continua; cuando se la conecta a una fuente de corriente alternada, en cambio, la reactancia inductiva se suma vectorialmente a la resistencia óhmica, haciendo que la impedancia de la bobina sea más alta que la resistencia a la corriente continua. El resultado es que la corriente por la bobina del relay es insuficiente para su funcionamiento.

Supongamos tener un relay para corriente continua, para trabajar con 120 volts, y que su estructura física requiere en la bobina una corriente de 60 mA (0,06 A). Este dato especifica inmediatamente que la resistencia de la bobina será 120/0,06 = 2000 ohms. Para un relay de construcción similar, pero diseñado para corriente alternada, se necesitará la misma corriente, y su impedancia a 50 c/s deberá ser 2000 ohms. Se hace necesario entonces que el fabricante compute la reactancia inductiva de la bobina y la sume vectorialmente a la resistencia, para que el total sea 2000 ohms. De esto surge claramente que el relay de corriente alternada tendrá menor cantidad de vueltas que su similar en corriente continua.

Contactos de los relays

Los contactos de los relays cierran o abren circuitos por los cuales circula corriente. A medida que aumenta la magnitud de la corriente controlada el tamaño de los contactos y el material usado en ellos asume mayor importancia. En el momento de cerrar el contacto, tiende a saltar una chispa entre ellos cuando

se aproximan; en cambio, cuando los contactos se abren, la corriente tiende a mantener su flujo por ionización del aire comprendido entre los dos contactos metálicos, produciendo el familiar arco de color azul. En ambos casos la energía de la corriente actúa elevando la temperatura de los contactos y aumentando su grado de oxidación. Dado que los óxidos son conductores más pobres que los metales puros, no debe permitirse que se formen; por otro lado, los óxidos tienden a pulverizarse y aglomerarse de forma tal que aparecen luego puntos de muy alta resistencia a lo largo de las superficies de contacto.

Por las razones dadas anteriormente, los contactos para relays se

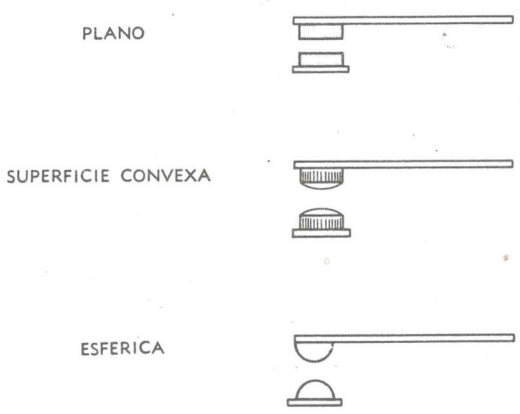


Fig. 1-5. Formas de los contactos para relay.

fabrican con plata, tungsteno, paladio o con aleaciones especiales que tienen alto punto de fusión y alta resistencia a la oxidación. A menos que el punto de fusión de los contactos sea alto, tienden a soldarse entre sí cuando la corriente circulante es alta; y a menos que estén construidos con materiales resistentes a la oxidación, se dañan por las picaduras producidas por el óxido.

Los relays utilizados en diferentes rangos de corriente están equipados con varias formas de contactos (Fig. 1-5). Para interrumpir corrientes muy altas, los contactos deben tener suficiente área y masa como para disipar el calor producido en el proceso de apertura. Se los especifica en términos de su "capacidad de corriente, voltaje de trabajo y tipo de carga que deben operar.

Dado que el efecto térmico de una corriente que circula a través de una resistencia es una función de la potencia manejada, se

entiende que debe especificarse tanto la corriente como el voltaje de trabajo de cualquier par de contactos. Estos pueden ser usados aun para interrumpir corrientes muy altas, si el voltaje inicial sobre los contactos es pequeño. Dado que los voltajes altos tienden a pasar a través de un espacio más fácilmente que los bajos, vemos otra razón por la cual se deben especificar ambos valores.

Es de importancia conocer también si los contactos han de trabajar con una carga resistiva o no-inductiva. Cuando se controla una carga resistiva, los únicos voltajes y corrientes presentes son aquellos que circulan directamente de la fuente de alimentación. Una carga inductiva en cambio, desarrolla una f.e.m. inversa que es frecuentemente más alta que la f.e.m. inicial, produciendo corrientes inversas que tienden a mantener un arco entre los contactos en el momento de la apertura de éstos. La magnitud de esta corriente inversa depende de la cantidad de reactancia inductiva presente en la carga.

Corriente diferencial

La armadura del relay acciona los contactos por la fuerza magnética producida entre la bobina y la armadura de hierro. Esta fuerza (Fig. 1-6) varía inversamente con el cuadrado de la distancia entre el polo del electroimán y la armadura. Recordando que la armadura de hierro está mantenida en su posición de reposo por un resorte estirado, vemos que comenzará a moverse hacia el núcleo cuando la fuerza magnética sea ligeramente mayor que la fuerza inversa producida por el resorte. Una vez que la armadura comienza a moverse, se intensifica la fuerza atractiva como resultado de la disminución de la distancia. Por lo tanto, la fuerza de atracción aumenta al moverse la armadura.

Por otro lado, la fuerza contraria ejercida por el resorte, también crece cuando la armadura se mueve hacia la bobina. ¿Por qué entonces la armadura continúa en su dirección inicial, si hay dos fuerzas opuestas que accionan sobre ella? La respuesta se halla en el hecho de que la tensión del resorte aumenta linealmente con el estiramiento; esto significa que si el resorte se estira el doble, se duplica la fuerza. Pero, si el resorte se ha alargado al doble, la armadura ha disminuido a la mitad de su distancia, lo cual significa que la fuerza magnética es cuatro veces más grande que antes. Por lo tanto, la atracción magnética es más grande que la fuerza contraria del resorte.

Una vez que la armadura ha bajado completamente, la corriente necesaria para mantenerla en esa posición es considerablemente

menor que la corriente inicial. Esto se deduce del hecho de que la fuerza magnética alcanza su valor máximo cuando la armadura está cerrada sobre el núcleo. La corriente que permite mantener la armadura pegada al núcleo puede llegar a ser el 50 % de la corriente inicial.

Consideremos un relay especificado para una corriente de funcionamiento de 0,7 mA, con 0,2 mA menos con la armadura baja.

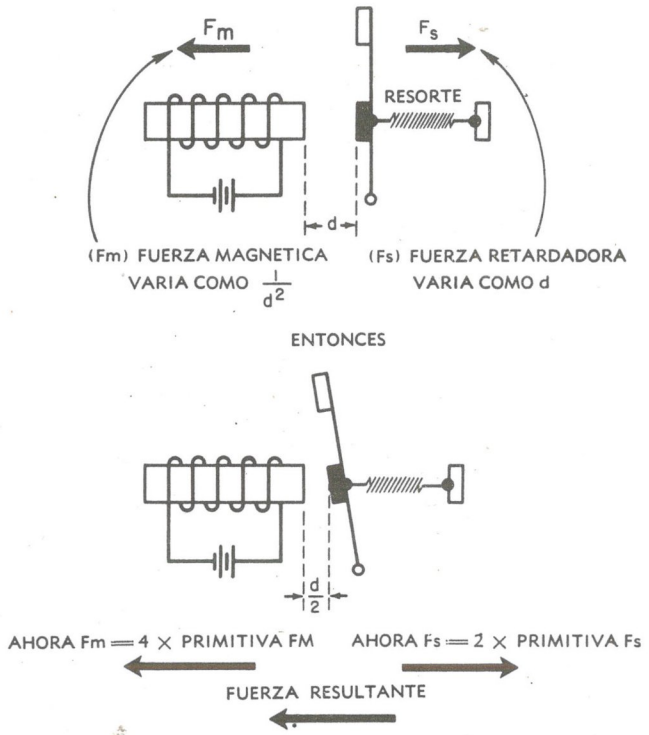


Fig. 1-6. Fuerzas que actúan sobre un relay.

El fabricante nos dice que la "corriente diferencial" es 0,2 mA, de forma tal que la corriente necesaria para que se mantenga la armadura sobre el núcleo será 0,7 − 0,2 = 0,5 mA.

En algunas aplicaciones es importante que el diferencial sea razonablemente grande. Por ejemplo, la operación segura de un relay colocado en un circuito en el cual la corriente varía en forma imprevisible, sobre un rango pequeño, solamente puede ser obte-

nida si el diferencial es grande. Un relay común de bajo costo, puede ser especificado para 7,5 mA siendo necesarios solamente 4 mA para que la armadura quede pegada al núcleo (diferencial = 3,5 mA). Una vez que la armadura ha bajado, permanecerá en su posición aun cuando la corriente disminuya a 4,1 mA. Otras aplicaciones (que discutiremos más adelante) pueden requerir que el diferencial sea pequeño, y entonces ambas corrientes tendrán una diferencia porcentual muy pequeña una de otra.

CUESTIONARIO

1. Los contactos de un relay deben ser a) planos y pulidos, b) redondeados, c) de plata, d) resistentes a la oxidación.
2. Si los contactos de un relay se cierran cuando se energiza la bobina, a) el relay es del tipo normalmente abierto, b) la bobina está en serie con la carga, c) la bobina está en paralelo con la carga, d) el relay es del tipo normalmente cerrado.
3. Un relay se energiza cuando la corriente de placa de una cierta válvula alcanza los 10 mA. a) Este relay puede ser conectado en paralelo con la resistencia de grilla de la válvula; b) Este relay puede ser del tipo normalmente abierto. c) El relay debe ser conectado en serie con el circuito de placa. d) No hay forma de alimentar un relay en este circuito.
4. En una determinada aplicación un relay es energizado cuando baja la temperatura. ¿Cómo puede variarse el circuito de la Fig. 1-4 (A) de forma tal que el relay cumpla esta función? (Ayuda: hay resistencias que tienen coeficiente de temperatura positivo.)
5. ¿Qué relación hay entre el área de los contactos y la característica de corriente de la bobina de un relay?
6. ¿Qué relación hay entre el área de los contactos y la corriente que pasa por los mismos?
7. ¿Por qué la capacidad de corriente de los contactos para una carga inductiva es menor que para una carga resistiva?
8. Un relay para operar a 500 mA tiene una corriente diferencial de 240 mA. ¿Cuál es la corriente que lo mantiene pegado?
9. Un sistema requiere que el relay actúe cuando la corriente que pasa es de 240 mA. ¿Se puede usar el relay de la pregunta 8 en este sistema?
10. ¿Por qué hay corriente diferencial? ¿Puede ser la corriente diferencial mayor que la corriente que mantiene pegada la armadura? ¿Que la corriente inicial de bajada?

2. Distribución de los contactos del relay

Interruptor simple - Normalmente abierto

Como ilustración de las aplicaciones de un relay interruptor simple de contactos normalmente abierto (1C1P-NA) vamos a considerar la siguiente situación hipotética: Un reloj que controla un sistema de gongs debe ser instalado en el edificio de una escuela. Hay 20 campanas, cada una de las cuales requiere 120 V. CA a 1 amper. Un reloj maestro colocado en la oficina principal de la escuela está preparado con un contacto aislado en el número 12, de forma tal que el minutero toca dicho contacto cada hora haciendo sonar las campanas. El minutero y el contacto pueden trabajar a 10 mA sin que se produzcan arcos; por otro lado la aislación del contacto no se considera segura para 120 volts.

Este es un problema para ser resuelto evidentemente por un relay, que transfiera la potencia necesaria para accionar los gongs. Podemos suponer los contactos suficientemente aislados para 6 V; por lo tanto podemos usar un relay de 6 V. Dado que se necesitan 120 volts para accionar los gongs, y 6 volts para el relay, debemos usar un transformador reductor para este último. La única precaución es que los contactos del relay deben ser capaces de manejar 20 amperes en carga inductiva, dado que los gongs electromagnéticos utilizan bobinas de alta inductancia. Normalmente pueden utilizarse los contactos de 25 amperes para carga no-inductiva, en

este tipo de trabajo. El diseño final es el que se ilustra en la Fig. 2-1.

En un relay que tenga contactos interruptores simples, normalmente cerrados (NC), hay un resorte que mantiene una tensión constante sobre la armadura, de forma tal que el contacto móvil y el fijo cierran un circuito cuando el relay está no-energizado. Cuando el circuito de la bobina se cierra por medio de alguna llave u otro aparato similar, la armadura es atraída por el núcleo, abriéndose los contactos y desconectando la carga.

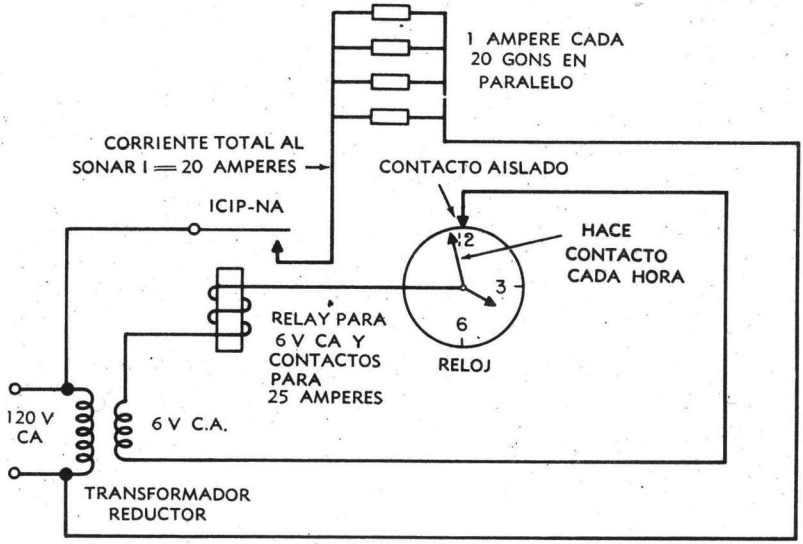


Fig. 2-1. Relay usado para sonar un gong a una hora determinada.

Un relay de este tipo tiene las mismas características constructivas que el tipo normalmente abierto. La única diferencia significativa es que el contacto fijo está colocado por encima de la armadura que acciona el contacto móvil, y el resorte montado en forma tal que ambos están en contacto cuando la corriente circulante por la bobina es menor que el valor de atracción. Todas las otras especificaciones, como son, corriente de la bobina, corriente diferencial y disipación de potencia, son las mismas.

Una aplicación típica para contacto interruptor simple NC

Las modernas resistencias sensibles a la luz (fotocélulas) se pueden disponer en circuitos simples que incluyan relays, para

ser usados como sistemas de alarmas, anunciadores, abridores de puertas y multitud de aplicaciones similares. Examinaremos una de éstas en detalle.

Un fabricante de fotorresistores de sulfuro de cadmio especifica sus productos en la siguiente forma: "Actúa como resistencia variable con la intensidad de la luz, desde 1 megohm en oscuridad total, hasta 1500 ohms para 100 bujías-pies. Voltaje máximo, 120

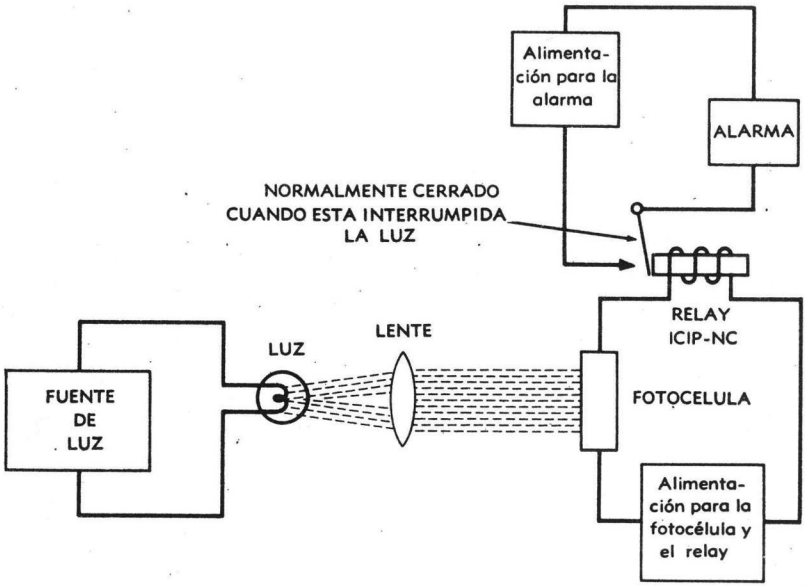


Fig. 2-2. Aplicación de un relay NC en un circuito.

volts CC; máxima disipación de potencia, 2 watts para 5 segundos y ½ watt en trabajo continuo".

Supongamos que deseamos construir un sistema anunciador que haga funcionar una alarma de 120 V. CA cuando alguien interrumpe un haz de luz al interceptarlo. El aparato estará compuesto por una fuente luminosa, tal como un pequeño proyector de haces paralelos que utilice una lamparita de automóvil de 6 volts, un fotorresistor de sulfuro de cadmio, un relay apropiado, una fuente de alimentación con rectificador y filtro y una alarma de 120 volts.

El esquema básico es el de la Fig. 2-2. Dado que la resistencia de la fotocélula disminuye al aumentar la luz y aumenta con la interrupción de ésta, un relay puede ser normalmente energizado

cuando no se interrumpe la fuente de luz. Para esta condición necesitamos que la alarme no funcione. Entonces para la condición de corriente, es necesario que los contactos estén abiertos y para la condición de no-corriente es necesario que los contactos se cierren. Se trata entonces de un relay normalmente cerrado (NC).

Es necesario determinar ahora las características necesarias del relay. Supongamos que la fuente de luz, medida con un fotómetro, suministra las 100 bujías-pies. Usando este valor máximo de intensidad luminosa, se puede suponer que la resistencia más baja de la fotocélula será 1500 ohms; esto permite calcular la resistencia requerida para el relay, para mantener la disipación de potencia por debajo de ½ watt. Entonces:

Dado que la potencia $P = 0{,}5$ watt

la resistencia de la célula $R = 1500$ ohms

la corriente máxima que se podrá hacer circular por la célula, está determinada por la ecuación de la potencia para I, sustituyendo los valores conocidos de P y R. Entonces.

$$P = I^2R$$
$$I^2 = P/R$$
$$I = \sqrt{P/R}$$

y

$$I = \sqrt{0{,}5/1500}$$
$$= 0{,}018 \text{ A ó } 18 \text{ mA}$$

Vemos entonces que la corriente máxima que puede circular a través del relay con 120 volts CC es 18 mA, y que esto se producirá en forma continua mientras la luz no sea interrumpida — la condición normal.

Para el hecho discutido, el voltaje aplicado es 120 volts y la resistencia de la fotocélula será 1500 ohms, mientras la corriente es 18 mA. Debemos seleccionar entonces un relay que posea una resistencia tal como para satisfacer esta condición. Aplicando la ley de Ohm:

$$R = E/I$$

donde R es la suma de la resistencia del relay y la resistencia de la fotocélula en serie. Entonces:

$$R = 120/0{,}018 = 6670 \text{ ohms.}$$

Restando 1500 ohms de este número, obtenemos 5170 ohms como resistencia mínima del relay. Dado que esta resistencia no es obte-

nible comercialmente, debemos ver cuál es el valor superior más próximo standard. Una revisación de catálogos nos revela que hay relays más baratos que poseen una resistencia de 10.000 ohms y una corriente de trabajo de 4,5 mA. Si se usa este relay, la foto-célula queda protegida por un factor 100 % de seguridad (de 5170 ohms a 10.000 ohms). La única cuestión pendiente es determinar si el flujo de corriente a través de la bobina y de la foto-

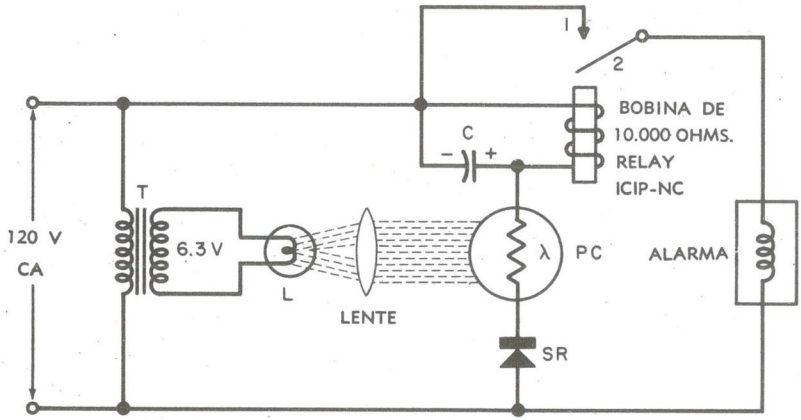


Fig. 2-3. Diagrama esquemático de un circuito con relay NC usado para hacer sonar una alarma cuando se interrumpe la luz.

célula es suficiente para mantener energizado el relay con 120 volts y bajo condiciones máximas de iluminación. Esto se determina fácilmente por medio de la ley de Ohm:

$$I = E/R = 120/(10.000 + 1.500) = 120/11.500 = 10{,}4 \text{ mA}$$

Esta corriente de 10,4 mA está bastante por encima de los 4,5 mA, y el relay puede trabajar bien con la luz de 100 bujías-pies o quizás menor. Por otro lado, esta corriente es considerablemente menor que el valor máximo de 18 mA, calculado para el fotorresistor, lo cual le permite trabajar dentro de amplios límites de seguridad. Este es, por lo tanto, el relay que debemos usar.

Tenemos ya información suficiente para efectuar el circuito final (Fig. 2-3). Describiremos entonces las funciones de todos sus elementos. La línea de 120 V. CA se conecta directamente sobre el primario T del transformador, el cual posee un secundario de filamento de 6,3 volts. Si la lámpara es de 32 watts de potencia

drenará unos 5 amperes sobre el bobinado secundario de T, por lo cual, éste deberá tener una capacidad mínima de 5 amperes para poder trabajar descansado. Una pequeña lente biconvexa, colocada en forma tal que el filamento de la lámpara se encuentre en el foco principal de la misma sirve para colimar la luz que va a la fotocélula.

El rectificador de selenio SR, la fotocélula PC y la resistencia de 10.000 ohms de la bobina del relay, se hallan en serie. El rectificador convierte la CA en CC pulsante; con todo el relay tiende a oscilar, a menos que se filtre el ripple. Esta función la cumple el condensador C (de 4 a 8 μF), el cual filtra la componente de CA de la CC pulsante, haciendo pasar al relay solamente la CC. Ni bien la luz alcanza la fotocélula, el relay queda energizado y los contactos 1 y 2 se abren. Cuando se interrumpe, los contactos se cierran haciendo sonar la campana de alarma.

Relay inversor simple

Este sistema de contactos (Fig. 2-4), tiene una posición normalmente cerrada y otra normalmente abierta. En realidad, este juego de contactos combina las funciones de los dos tipos discutidos previamente.

En la posición normal, cuando no circula corriente, los contactos superiores están cerrados mientras que los inferiores se

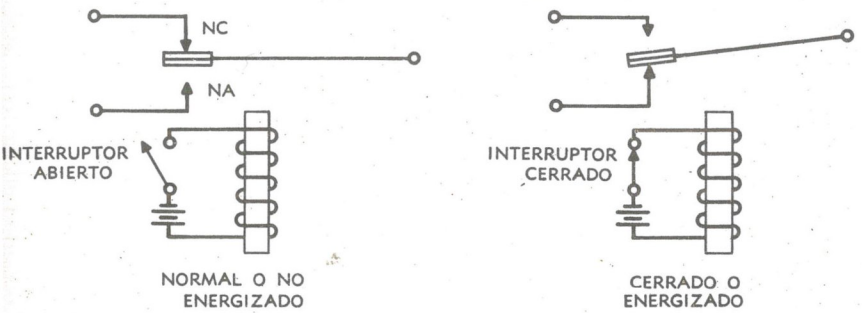


Fig. 2-4. Relay de un solo polo y doble contacto.

hallan abiertos; cuando el relay está energizado, la armadura se mueve hacia abajo, abriendo el contacto superior y cerrando el inferior. Debemos introducir ahora un aspecto importante relacionado con la operación de los contactos del relay. Este inversor simple, de un solo polo, trabaja como un inversor de palanca, en

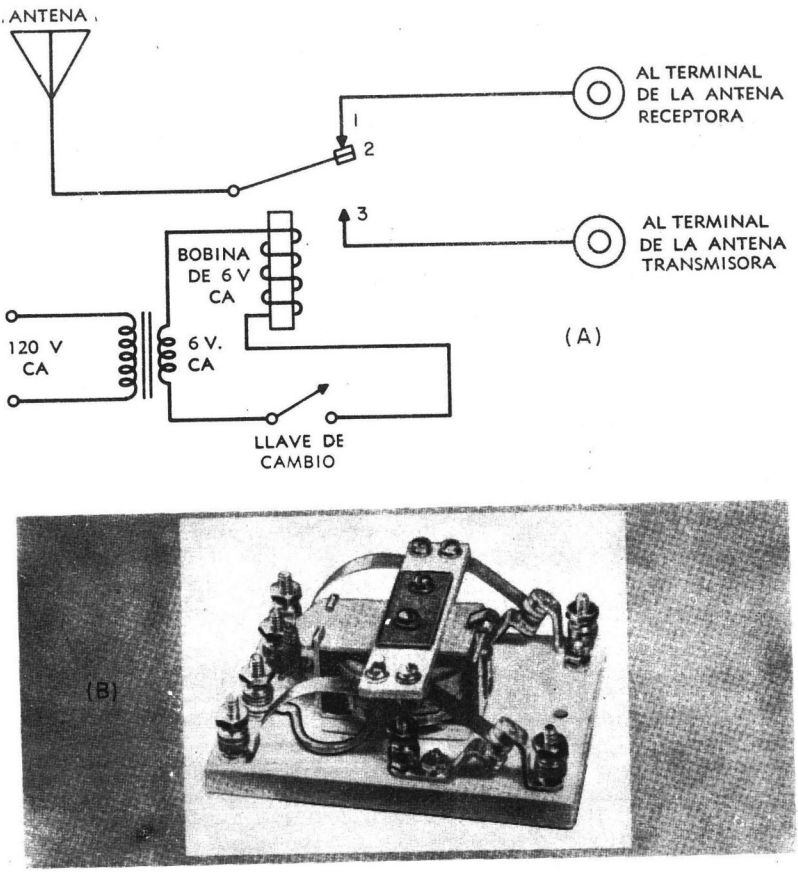


Fig. 2-5. Relay usado como protección en circuitos de antena de alto voltaje. (B) Relay típico para cambio de antena. Relay Advance.

el cual la apertura de los contactos superiores se produce antes que se cierre el circuito correspondiente a los contactos inferiores. Esto parece una secuencia natural, pero con todo hay otras posibles.

Una aplicación típica de un relay inversor simple es la siguiente: Una antena en una estación de radio es usada tanto para la transmisión como para la recepción. Dado que la potencia de salida es cerca de 10 kilowatts en energía de RF, es peligroso colocar una llave para realizar el cambio. El operador utiliza para

esta función un relay (Fig. 2-5[A]). En la figura 2-5 (B) se observa la fotografía de un relay para este trabajo.

Normalmente puede trabajarse con 6,3 volts de cualquier transformador para filamentos; también puede usarse los 120 V de la línea. Si el relay está colocado en un punto relativamente lejano del panel de control (situación muy frecuente) es más conveniente usar 6,3 volts, porque fácilmente puede tenderse una línea con cable de campanilla. En cambio si se emplea la línea de canalización debe usarse cable armado o embutido para que cumpla con las especificaciones eléctricas.

En la mayoría de las estaciones transmisoras, el receptor es más activo que el transmisor, permaneciendo conectado por largos períodos de tiempo. Por lo tanto, la antena debe ser conectada al receptor cuando el relay está no-energizado, con los contactos 1-2 cerrados. Cuando se pasa al transmisor, se energiza el relay y se cierran los contactos 2-3.

Relays interruptores dobles

Una armadura simple puede mover más de un contacto. Si esta armadura está provista de dos contactos separados y aislados uno de otro, junto con otros dos contactos fijos, de forma tal que constituyen dos circuitos separados, tenemos un relay doble interruptor. Un ejemplo típico, junto con su símbolo, se ilustran en la Fig. 2-6.

Hay varios métodos para mover los contactos de la armadura. Pueden estar montados directamente sobre la armadura, encima de una placa aislante transversal o pueden estar fuera de ella y ser movidos por un pequeño vástago. Los relays de potencia usan el primer método, los mecanismos con vástagos son más frecuentes en relays telefónicos, donde se manejan pequeñas corrientes de señal. En cualquiera de ambos casos, la configuración de doble interruptor se aplica generalmente a circuitos en los cuales dos líneas deben ser cortadas simultáneamente. Estas líneas pueden constituir un circuito simple, en el cual una es el "vivo" y la otra es el "retorno", y también, cada una de ellas puede formar circuitos completamente distintos.

Una de las aplicaciones principales de los interruptores dobles, es la apertura a distancia de una línea de 120 V. CA (o 220 V. CA). Nuestra primera idea es suponer que cualquier carga colocada sobre una línea de canalización puede ser accionada por un solo contacto (Fig. 2-7 [A]). En realidad, este es el método empleado en muchas aplicaciones del hogar, y es perfectamente correcto siempre que ninguna parte del circuito pueda ser tocada por el

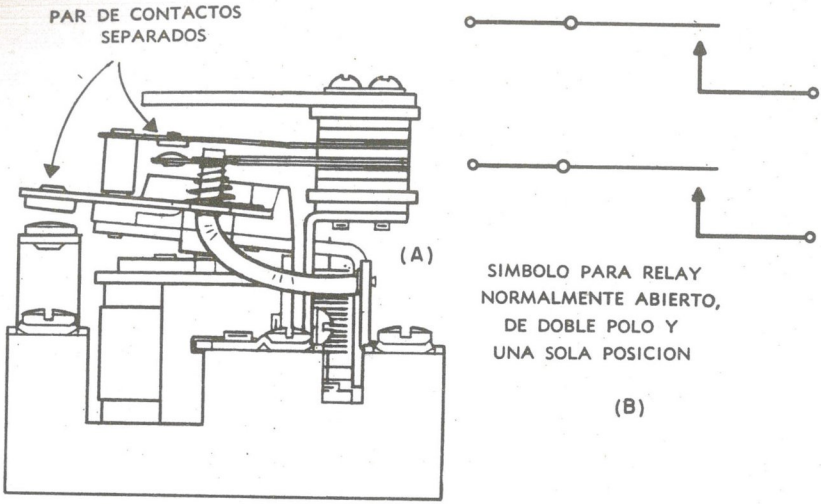


Fig. 2-6. (A) Relay interruptor doble, normalmente abierto, típico. "Guardian Electric Manufacturing Company". (B) Símbolo para un relay interruptor doble.

usuario. Puede notarse en la figura, que en ese caso, el polo "vivo" está siempre conectado, no siendo interrumpido cuando se acciona la llave manual. Dado que los toma-corrientes para alternada no están necesariamente polarizados, los terminales del artefacto pueden ser conectados con el interruptor sobre el neutro, quedando el vivo permanentemente sobre el aparato, lo cual puede ser origen de accidentes desagradables. Muchos fabricantes recomiendan el uso de interruptores dobles, para que se pueda interrumpir ambos polos de la línea (Fig. 2-7 [B]). Para el control remoto de primarios de transformadores de alto voltaje, los relays doble interruptores con bobina de 6 volts, son excelentes, los relays de potencia se usan también como interruptores para accionar grandes motores (Fig. 2-7 [C])

Relays inversores dobles

Los relays inversores dobles se construyen en una de las tres siguientes formas:

a) una plancha transversal sobre la armadura, con los contactos móviles.
b) un sistema de vástago como el del caso del interruptor doble, con la excepción de tener un juego adicional de contactos fijos por debajo de los móviles;

Una estructura de hojas múltiples en la cual una plancha de material fenólico perforada está unida a la armadura y acciona los contactos móviles.

El sistema inversor doble es una combinación de interruptor doble e inversor simple. Puede controlar dos circuitos con cuatro cargas posibles. En los relays inversores dobles, ambos contactos móviles cortan y cierran al mismo tiempo. Tales relays pueden

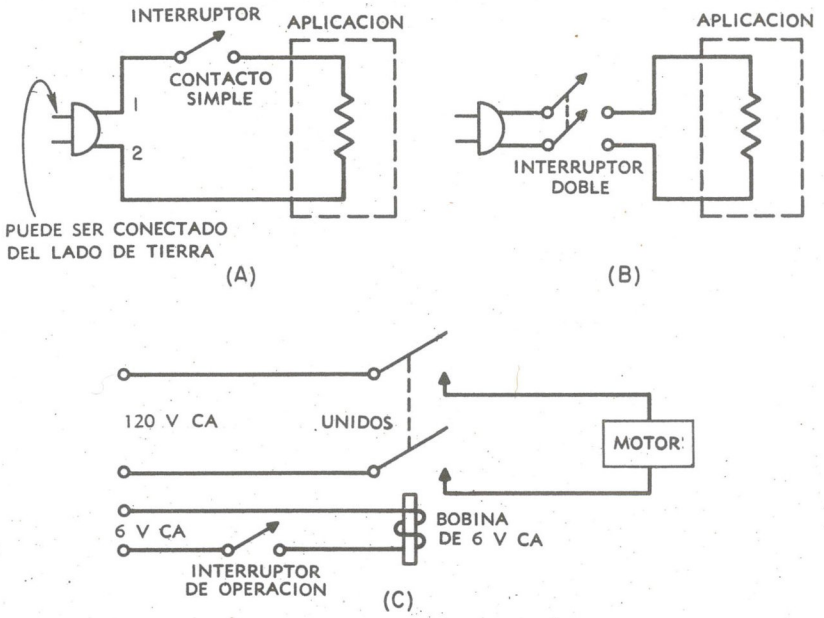


Fig. 2-7. (A) Interruptor simple usado para interrumpir un aparato; (B) Uso de un interruptor de doble contacto como medida de seguridad; (C) Uso de un relay doble interruptor, normalmente abierto, donde hay presentes altos voltajes.

ser suministrados, virtualmente con cualquier tipo de bobina y con contactos que van desde un ampere hasta 60 amperes si es necesario.

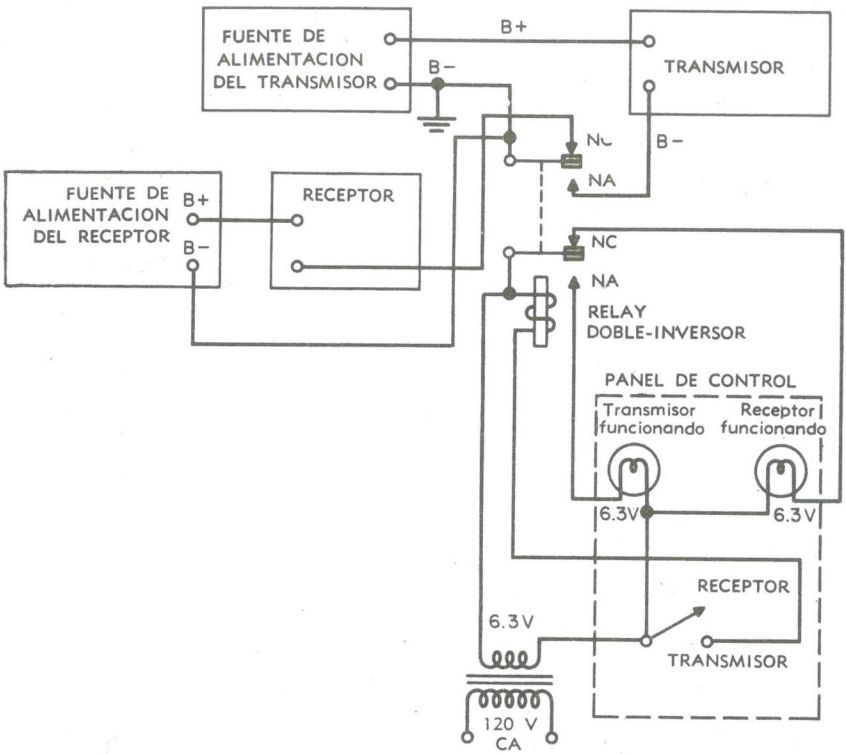


Fig. 2-8. Relay doble inversor usado para comandar transmisor y receptor, con sus luces pilotos.

En la figura 2-8 se ilustra una de las aplicaciones comunes de los relays inversores dobles. Frecuentemente es necesario comandar lámparas piloto de bajo voltaje que proveen información sobre cuál de dos circuitos se encuentra en funcionamiento. Por ejemplo, un transmisor y un receptor que utilicen fuentes de alimentación separadas, pueden ser controlados a distancia por un relay inversor de dos polos, y las lámparas indicarán cuál de ellas se encuentra en funcionamiento. En este sistema podemos preguntarnos, ¿por qué usar un relay? ¿Por qué no se usa una llave inversora? La respuesta está en el hecho de que no es conveniente montar cables que llevan alta tensión a través de un espacio en el cual es posible un contacto accidental. Además es mucho más caro tender líneas de alto voltaje desde el equipo a la llave, que tender una línea de

6,3 volts. Es de notar además la seguridad implícita en el sistema aplicando 6,3 volts a las llaves, no existe nunca peligro de accidentes, mientras que una llave, aun en el — B, transporta la totalidad del voltaje de la fuente.

Las acciones reversibles son otras de las aplicaciones de estos tipos de relays. Cuando la dirección de la corriente es importante —como para el uso de motores de CC, galvanotecnia, etc.—, la acción inversora de los contactos puede prestar buenos servicios.

Los motores de corriente continua (Fig. 2-9), por ejemplo, se usan frecuentemente en cualquiera de sus dos sentidos de giro.

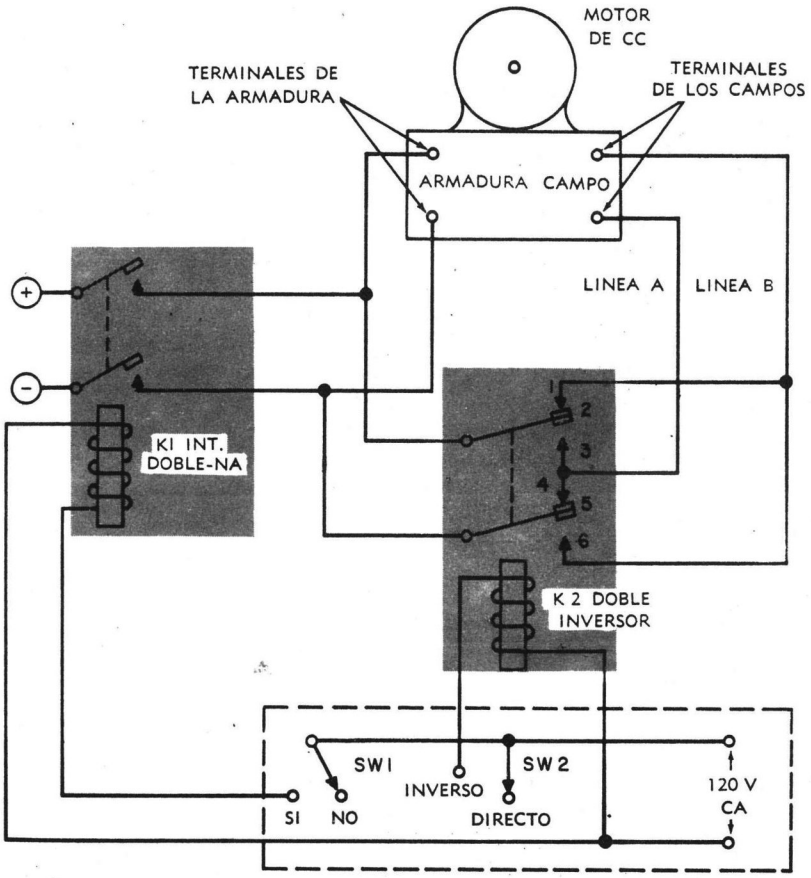


Fig. 2-9. Relay doble inversor usado para invertir la rotación de un motor de CC.

El cambio de giro se hace invirtiendo la dirección de la corriente en el bobinado del campo o en el del rotor. Este es un caso en el cual los contactos deben ser colocados lo más cerca posible del motor para evitar pérdidas de potencia, mientras que la llave que controla la inversión puede estar situada a cierta distancia.

El relay inversor doble es el indicado para este trabajo. Examinando el circuito, es evidente que el relay lo único que hace es invertir la dirección de la corriente en el bobinado de campo. Además puede usarse un relay interruptor doble para abrir o cerrar el circuito, como se aprecia en la ilustración.

Ambos relays, K1 y K2 son para 120 volts por razones de conveniencia. Los contactos de ambos estarán en relación con la corriente demandada por el motor; para K1, la capacidad de los contactos será la corriente que drenan ambos campos y el rotor, mientras que para K2, sólo es necesario que pueda manejar la corriente de los campos. Con SW1 en la posición "NO", K1 está en reposo y la corriente no circula ni por los campos ni por el rotor. Cuando se cierra SW1, se energiza K1. Con SW2 en la posición directa, K2 está en reposo y los contactos 1-2 y 4-5 cerrados —estos son los contactos normalmente cerrados. La corriente circulará a través de la línea B al contacto 1, al 2 y de ahí al positivo de la fuente de corriente continua.

Cuando se invierte SW2, se energiza el relay y baja la armadura, poniendo en funcionamiento los contactos 2-3 y 5-6. La corriente fluye al contacto 5, al 6, y hacia arriba, a través de la línea B. Retorna por la línea A al contacto 3, y por el 2 al terminal positivo de la fuente de CC. Como se ha invertido la dirección de la corriente en el campo, el motor gira en el sentido opuesto. Para ambas posiciones, la dirección de la corriente en el rotor es la misma.

Acción retentiva en la doble inversión

Los relays son generalmente aparatos de acción momentánea; esto es, se energizan cuando el circuito de la bobina está cerrado, y vuelven a su posición normal instantes después que se abrió dicho circuito. Si bien esta acción es la que generalmente se desea, hay aplicaciones en las cuales es necesario que el relay permanezca energizado aun cuando el sistema operativo se ha desconectado.

El mejor ejemplo de esto se halla en los sistemas de alarmas contra ladrones (Fig. 2-10 [A]), en los cuales la campanilla debe seguir sonando aun cuando el efecto que la hizo funcionar haya durado sólo pocos instantes. Un intruso puede pasar por encima de una alfombra que posee una llave de alarma, puede abrir una

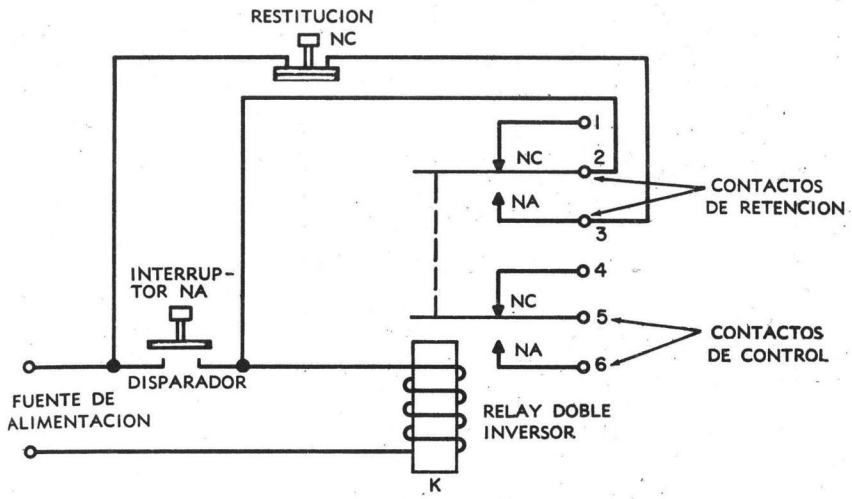


Fig. 2-10 A. Relay doble inversor usado en un sistema avisador.

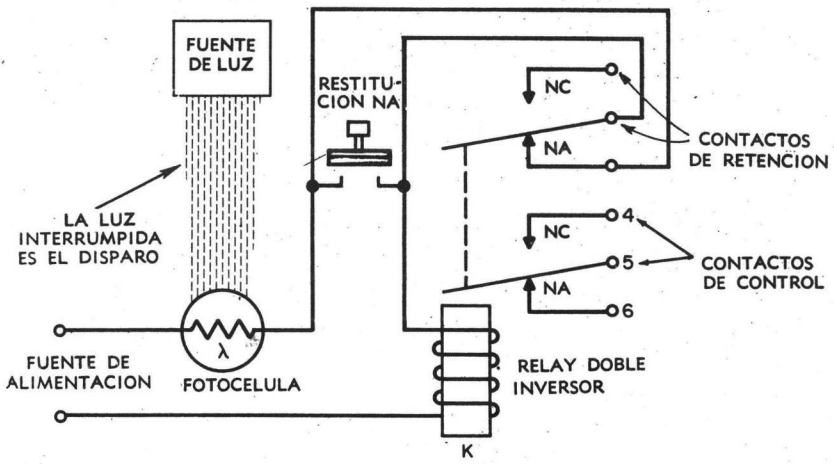


Fig. 2-10 B. El mismo relay doble inversor usado en un sistema de alarma para interrupción de luz.

puerta con contactos eléctricos avisadores, o puede interrumpir momentáneamente un haz de luz que excita un fotorreceptor sensible. En cualquiera de los casos antedichos, cuando escucha el

que el sistema de alarma sea efectivo, la campanilla debe continuar sonando aun cuando se haya interrumpido la señal de disparo.

Supongamos que el disparador es un pulsador normalmente abierto, como los que se usan para timbres de llamada. Cuando éste se cierra, la bobina del relay atrae la armadura, haciendo operar los contactos de control (5-6) y los de retención (2-3). Los contactos de retención cortocircuitan el disparador, y aun si éste es abierto inmediatamente después, la bobina permanece energizada. El pulsador de *restitución* se apreta momentáneamente para abrir el circuito, cuando se desea que éste vuelva a las condiciones normales.

Dado que el grupo de control está provisto de un contacto normalmente abierto y otro normalmente cerrado, la alarma puede ser conectada para que suene cuando el circuito se abre o se cierra. Esta configuración de contactos se adaptan para utilizar con sistemas fotoeléctricos de luz interrumpida (Fig. 2-10 [B]) con sistemas manuales como el indicado.

Configuración de contactos poco usuales

Sobre un relay se pueden disponer muchas combinaciones de interruptores, sobre todo si éste está particularmente diseñado para cumplir alguna necesidad específica.

Hemos mencionado previamente que el relay inversor simple representa un sistema interruptor que podríamos llamar "abrir

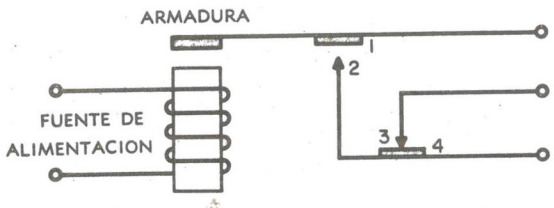


Fig. 2-11. Relay de contacto prematuro.

antes de cerrar". El contacto móvil se separa de uno de los contactos fijos antes de cerrar el circuito del otro. Con algunas modificaciones mecánicas se puede invertir este orden. Cuando se aplica voltaje a la bobina de Fig. 2-11, la armadura se mueve hacia abajo produciendo el contacto 1-2. Esta acción debe producirse antes que el contacto 4 se separe del 3, dado que el 4 está unido mecánicamente al 2. En este caso, el cierre debe preceder a la apertura. Esta modificación hace pasar un grupo de lámparas incandescentes o fluorescentes de un generador a otro sin que éstas se apaguen.

Los circuitos de control fotoeléctrico son muy comunes en las industrias modernas, donde toman parte en recuentos, selección y trabajos de almacenamiento, así como en sistemas de protección de personal contra máquinas. La mayoría de estos circuitos son de acción extremadamente rápida, haciendo uso de válvulas de fotocélulas al vacío que responden en forma casi instantánea a los cambios de intensidad luminosa.

Supongamos que un fotorrelay de acción rápida se halle en condición de reposo; esto significa que todos los filamentos están encendidos pero no hay voltaje de placa en el amplificador, ni se

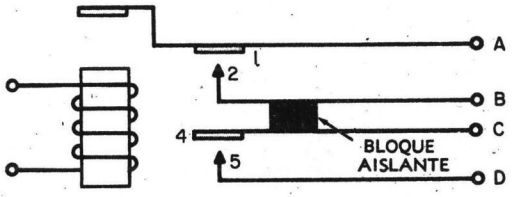


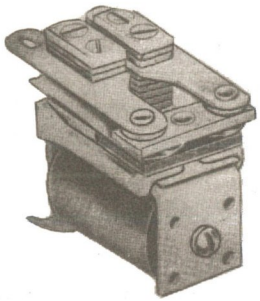
Fig. 2-12. Relay de contacto retardado.

halla encendido el filamento de la lámpara excitadora. Imaginemos que se trata de un sistema en el cual la interrupción de un haz de luz hace funcionar el relay. Si se aplica ahora voltaje a las válvulas y a la lámpara excitadora, al mismo tiempo, disparará el relay y pondrá en funcionamiento el mecanismo de respuesta. Para evitar la acción espúrea, es necesario que la lámpara excitadora sea conectada antes que el voltaje de placa de las válvulas amplificadoras. Esto podría realizarse con un par de interruptores, que operen uno antes que el otro; también puede realizarse con un interruptor especial, o en sistemas de control remoto, con un relay de contacto retardado. La armadura, en la Fig. 2-12, tiene un recorrido largo cuando se mueve hacia el núcleo de la bobina, llevando el contacto 1 hacia abajo con ella. El contacto 1-2 se realiza antes que se haya completado el recorrido total, cerrando el circuito entre los terminales A y B. Estos terminales se hallan en serie con el filamento de la lámpara excitadora. En ese instante el bloque aislante 3 que lleva el contacto 4, baja y toca al contacto 5, cerrando entonces el circuito entre los terminales C y D. Estos son los que alimentan las válvulas. El pequeño retardo de tiempo entre el primer cierre (A y B) y el segundo (C y D) es suficiente para que la lámpara excitadora alcance el brillo necesario para evitar la acción espúrea del fotorrelay.

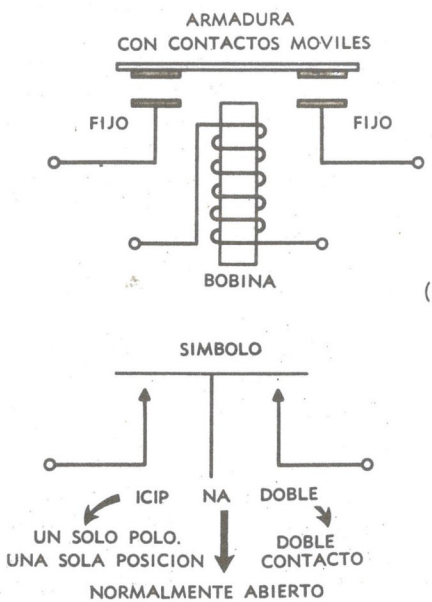
Un diseño de contactos muy diferentes de los que hemos discutido anteriormente se utiliza frecuentemente en sistemas que deben

conectar o interrumpir circuitos de muy altas corrientes. Las aplicaciones industriales que emplean circuitos semejantes son las de control de grandes motores o generadores, hornos eléctricos, equipos comerciales de galvanoplastia, en los cuales la corriente circulante se mide en cientos de amperes.

El sistema de contactos se denomina de doble-cierre, cuando está normalmente abierto, y de doble-apertura, cuando está normalmente cerrado. Un relay de doble-cierre es el que se observa en la Fig. 2-13 [A]. En este caso (ver Fig. 2-13 [B]), hay dos contactos fijos inferiores, cada uno de los cuales está remachado a una gruesa



(A)



(B)

Fig. 2-13. (A) Fotografía de un relay doble para control de potencia. Potter y Brumfield; (B) Operación y símbolo esquemático de un relay doble.

planchuela de cobre, que forman los contactos móviles. Cuando se energiza el relay, los contactos superiores descienden y tocan a los inferiores.

Cuando el relay está bien ajustado, la doble acción se produce al mismo tiempo, dividiendo el trabajo de los contactos en dos partes iguales. Cada par de contactos necesita, por lo tanto, la mitad de la capacidad de corriente del circuito. Por este método, los relays para corrientes muy intensas pueden construirse en tamaños relativamente pequeños.

CUESTIONARIO

1. Con la ayuda de un circuito, muestre cómo se conectan los contactos inversores dobles para invertir la dirección de la corriente en una cuba de galvanoplastia.
2. Imagine una forma para hacer esto: un relay que tiene una bobina para 120 V CA, se usa para controlar una alarma de 120 V, pero el relay debe quedar retenido no bien se lo ener-

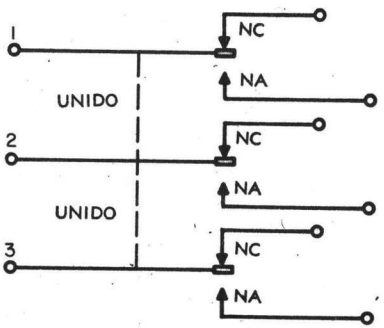


Fig. A.

giza. Puede ser realizado con contactos interruptores simples.
3. En la Fig. A se observa un relay inversor de tres polos. ¿Puede ampliar su comprensión de los relays inversores describiendo una posible aplicación de este sistema?
4. Basado en el dibujo de la pregunta anterior, trace el diagrama de un relay inversor de cuatro polos, y describa un circuito en el cual pueda ser usado dicho relay.
5. Describa un tipo de contacto que pueda realizar cada una de las operaciones siguientes: abrir antes de cerrar, cerrar antes de abrir, y cerrar antes de cerrar.
6. Un relay está especificado para 2 watts y requiere una co-

rriente de 500 mA. Una batería cuyo voltaje es 24 volts tiene una capacidad de corriente de 10 amperes. ¿Se puede aplicar esta batería directamente al relay?

7. ¿Cuál es la diferencia entre un relay inversor simple y uno interruptor doble? Describa una aplicación para cada tipo.
8. Para determinada aplicación se necesita un relay inversor simple. ¿Puede ser sustituido por un interruptor doble? ¿Y por un inversor doble?
9. ¿Por qué los fabricantes recomiendan interrumpir ambos polos de la línea de alimentación? ¿Puede utilizarse en esta operación un relay inversor simple o un interruptor doble?
10. ¿Cuáles son algunas de las principales ventajas y desventajas del relay comparado con el interruptor manual?

3. Circuitos para relays de CC

Circuito básico a batería

El estudio propiamente dicho de los circuitos para relays comienza con el de un sistema operado a baterías. Al seleccionar el relay y la batería, se debe pensar previamente en algunos factores, tales como, voltaje de batería, potencia de la bobina y el tipo de carga que controlará, así como la capacidad de corriente de los contactos y su forma.

En la mayoría de los relays que operan con baterías es más preferible el funcionamiento con voltaje que con corriente. Es difícil, si no imposible, hallar un relay que funcione con voltajes inferiores a 6 volts; se puede planear por lo tanto el uso de una batería de 6, 12 ó 24 volts, dado que estos valores son siempre normales. Generalmente, las limitaciones que se imponen a su uso, son las de peso y espacio, y por lo tanto, lo primero que debe seleccionarse son las baterías. Luego puede elegirse un relay que funcione con dicha batería.

Por ejemplo, supongamos que se necesita colocar una batería y un relay en una caja metálica pequeña, y se pudo conseguir una batería de 6 volts con una capacidad máxima de corriente de 20 mA. La capacidad de potencia de la batería es 6 volts $\times$ 0,02 amper = 0,12 watt o sea, 120 miliwatts. Dado que éste es el régimen máximo, es preferible elegir un relay capaz de funcionar con

menor potencia. Recorriendo las listas de los fabricantes, hallamos un relay especificado para 6 volts, con una bobina de 202 ohms de resistencia. La potencia demandada por este relay es:

$$\text{Potencia} = \frac{E^2}{R} = \frac{6 \times 6}{202} = 178 \text{ miliwatts}$$

potencia demasiado alta para la batería, dado que ésta no suministra más que 120 miliwatts como máximo.

Seguimos recorriendo la lista y encontramos un relay de poco peso y pequeño. Está especificado para 6 V. CC y 335 ohms de

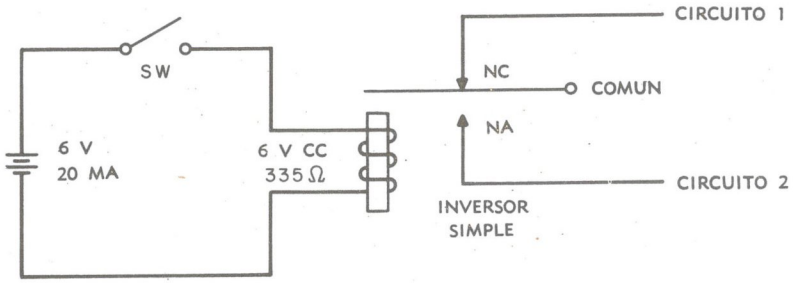


Fig. 3-1. Circuito simple para relay de CC.

resistencia en la bobina. Sustituyendo en la fórmula de la potencia tenemos:

$$\text{Potencia} = \frac{6 \times 6}{335} = 107 \text{ miliwatts (aprox.)}$$

Se deduce claramente que la potencia requerida por este relay, es la que puede concordar con la disponible en la batería. El circuito (Fig. 3-1) es, indudablemente, muy simple, posee contactos inversores de forma tal que se pueden controlar dos circuitos separados, si se lo desea.

Uso de CA rectificada para el funcionamiento de relays de CC

Los semiconductores rectificadores, tales como las placas de selenio, los diodos de germanio y de silicio, y las unidades de óxido de cobre, hacen relativamente sencillo el trabajo de adaptar relays de CC para funcionar en CA. El circuito más simple es el que usa un solo rectificador de media onda, como puede obser-

varse en la Fig. 3-2 (A). Si se conecta un relay de CC en la forma ilustrada, su armadura vibraría en forma sincronizada con las pulsaciones de los medios ciclos alternados rectificados. La forma de onda normal es la que se ilustra en la Fig. 3-2 (B). La armadura del relay es suficientemente liviana como para moverse hacia arriba y hacia abajo, siguiendo las oscilaciones del voltaje alternado. El zumbido es desde todo punto de vista indeseable, dado que produce ruidos y arcos entre los contactos cuando se abren y cierran a una relación determinada por la frecuencia de la línea (generalmente 50 c/s).

El zumbido puede ser evitado en varias formas diferentes. La más común de éstas es la conexión de un condensador entre los terminales de la bobina (fig. 3-3), para acumular energía eléctrica durante el medio ciclo de conducción. Cuando la CA se invierte y el rectificador deja de conducir, el condensador suelta su energía acumulada, sobre la bobina del relay, manteniendo el campo

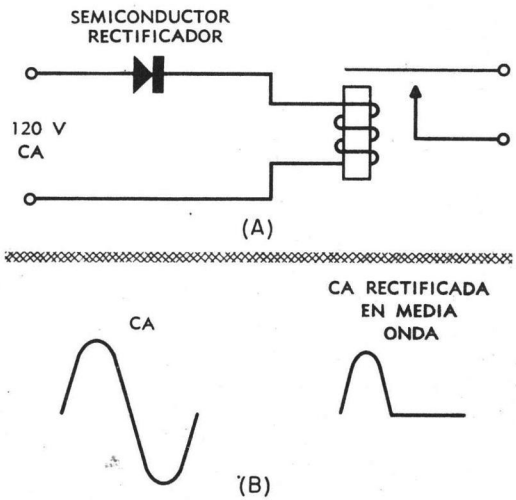


Fig. 3-2. (A) Relay de CC operado por medio de CA, usando un circuito rectificador; (B) Forma de onda de los voltajes aplicado y rectificado.

magnético hasta el siguiente semiciclo de conducción. La corriente circulante por conductores y bobina durante el medio ciclo de conducción del rectificador se ha indicado en líneas llenas. Cuando la corriente circula en esa forma, el condensador toma carga positiva en la placa superior y negativa en la inferior; al mismo

tiempo la corriente circula por la bobina del relay. Cuando se produce la inversión del voltaje aplicado, la corriente debida a la conducción del rectificador, deja de circular, pero el condensador se descarga a través de la bobina en la dirección indicada por la línea de puntos. Dado que la dirección de la descarga es la misma que posee la corriente de conducción, la armadura se mantiene en su sitio durante el medio ciclo inactivo.

Si el condensador es muy pequeño puede persistir un nivel de

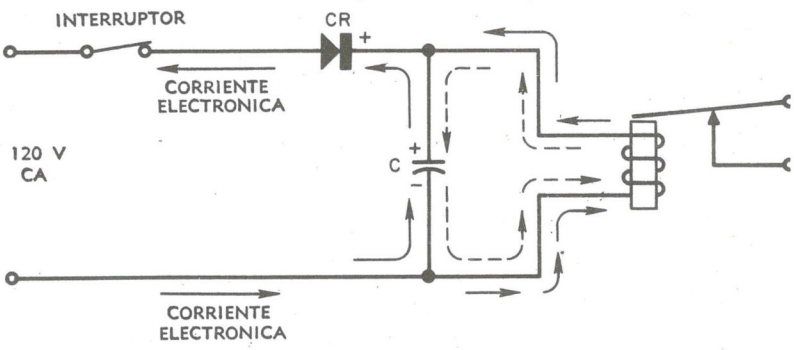


Fig. 3-3. Condensador colocado sobre la bobina de un relay para evitar oscilaciones.

zumbido intolerable; pero por otro lado, si el condensador es muy grande, la armadura del relay quedará pegada por un tiempo considerable, después que se ha interrumpido el circuito. Este retardo de tiempo puede ser deseable o no; si no lo es, entonces se debe elegir un condensador que cumpla con ambas exigencias.

Por el momento, presentamos una ecuación simple que ayudará a elegir el condensador apropiado para evitar el zumbido sin introducir un retardo de tiempo considerable. Posteriormente, entraremos en mayores detalles sobre el origen de esta ecuación. Suponiendo que la frecuencia de la línea es 50 c/s la ecuación es:

$$\text{Capacidad necesaria C } (\mu F) = \frac{17.000}{\text{Resist. bobina}}$$

Ilustraremos esto, determinando la capacidad necesaria para evitar el zumbido de un relay de 5.000 ohms, usado con un rectificador de media onda. Sustituyendo la resistencia conocida en la ecuación:

$$C = \frac{17.000}{5.000} = 3{,}4\ \mu F$$

Esta capacidad no se consigue fácilmente en los negocios del ramo. En tal caso se usa el valor siguiente más alto. Usaremos entonces 4 μF.

Rectificador invertido

Una segunda solución al problema del zumbido del relay, es el llamado "rectificador invertido", como el de la Fig. 3-4. Este método ha ganado más adeptos debido a las ventajas que posee cuando se lo compara con los circuitos a condensador. La corriente directa se indica por medio de líneas llenas. Durante el medio ciclo conductor, el rectificador invertido (CR2) se comporta como un circuito abierto, debido a su polaridad inversa; por lo tanto, toda la corriente que circula por CR1, lo hace también por la bobina del relay. El campo magnético alrededor de la bobina, que se forma durante la conducción, se anula durante el medio ciclo siguiente.

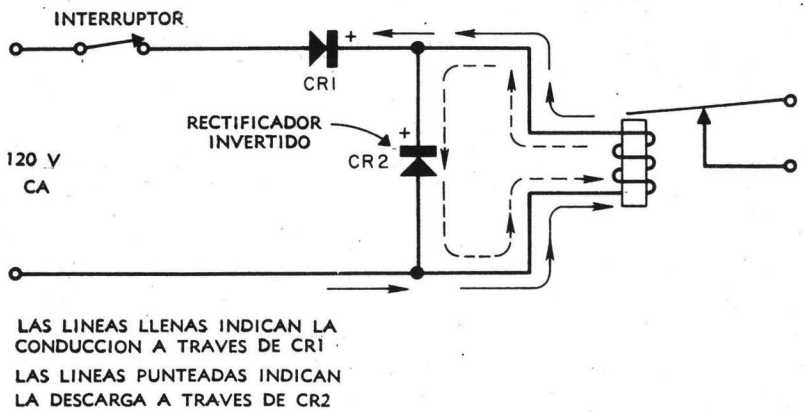


Fig. 3-4. Rectificador invertido para evitar oscilaciones.

En este circuito, sin embargo, existe un camino a través del cual circula la corriente inducida por la bobina, al disminuir la intensidad del campo. CR2 conduce y completa el circuito de la corriente inducida, circulando, como puede verse en las líneas punteadas, en la misma dirección que la corriente magnetizante. Por lo tanto, la armadura permanece atraída durante el intervalo de no conducción, por la propia corriente inducida por la bobina, circulando a través de CR2.

Las ventajas de este sistema son:

1) La constante de tiempo del relay es muy poco afectada, en comparación con el método del capacitor.
2) El espacio ocupado es reducido.
3) La corriente absorbida por el rectificador principal es menor que en el circuito a condensador.

La razón de esta reducción en la corriente del rectificador es que, no hay necesidad de aplicar energía de carga al condensador; se usa en cambio la energía acumulada en el campo de la bobina. Esto permite el uso de un rectificador principal pequeño. El rectificador inverso tendrá una capacidad de corriente del 40 % de la corriente total del relay. Usando dos rectificadores pequeños, el costo no es mucho mayor que el de un solo rectificador grande.

Rectificadores-puente para relays de CC

Los sistemas discutidos reducen totalmente el zumbido en relays pesados, de tamaño grande. Cuando se trabaja con armaduras que poseen poca inercia, puede quedar algún zumbido residual, aun usando la protección del condensador o del rectificador invertido. Cuando esto ocurre, la bobina debe alimentarse con un rectificador puente de onda completa. El circuito básico es el que se ilustra en la Fig. 3-5. Cuando se lo usa con un condensador de la mitad del valor requerido por el mismo relay, en un circuito de media onda, el zumbido puede eliminarse completamente, aun en los relays más ligeros.

La acción rectificadora de onda completa del puente puede comprenderse fácilmente observando la figura. Cuando el voltaje

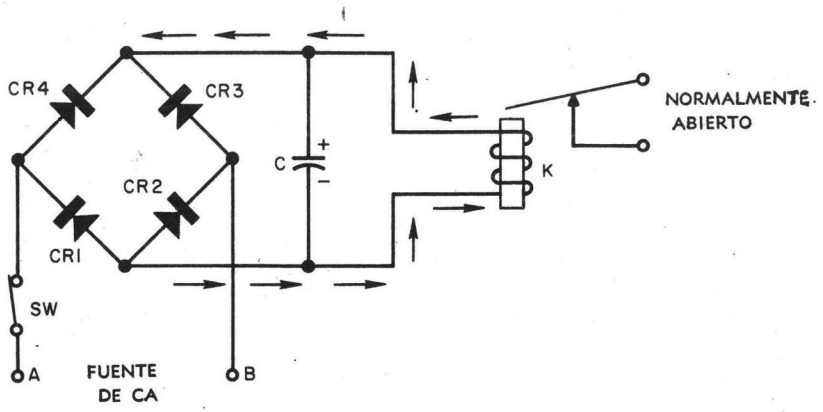


Fig. 3-5. Circuito puente para operar el relay libre de oscilaciones.

aplicado es negativo en A, con respecto a B, la corriente circula de A, a través del rectificador 1, a la bobina del relay, retornando desde la bobina, por el rectificador Nº 3, al terminal B de la fuente. Cuando se invierte la CA, la corriente circula desde el terminal B, por el rectificador Nº 2, a la bobina, retornando a través del rectificador Nº 4 al terminal A de la fuente.

Veamos ahora cómo se produce la acción de anular el zumbido. Sin el condensador colocado en el circuito, el campo que se anula en la bobina, genera una corriente inversa que va a lo largo del conductor superior, pasando por los rectificadores en serie y por la bobina, que mantiene una corriente magnetizante durante los intervalos entre los picos. Por esta razón, la presencia de un condensador no es generalmente necesaria, excepto en casos muy extremos.

Hay en la actualidad unidades rectificadoras en puente, de costo razonable, diseñadas para estos trabajos con relays.

Polarización del relay de CC

Los rectificadores de media onda se usan frecuentemente con relays de CC y con fuentes de CC, con propósitos de polarización. El circuito ilustrado en la Fig. 3-6 es el de un relay de CC polarizado, el cual responde solamente cuando el terminal superior de

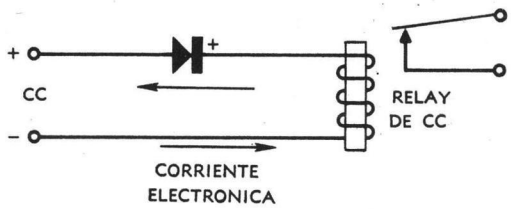


Fig. 3-6. Polarización de un relay de CC para usar con fuente de CC, evitando la inversión inadvertida del voltaje aplicado.

la bobina es positivo con respecto al inferior. La operación polarizada es recomendable en cualquier aplicación en la cual es indeseable la inversión del positivo y negativo, tal como la carga de baterías y en galvanoplastia.

Relays selectivos

Consideremos un problema de conmutación que encuadre dentro de lo siguiente:

a) Dos relays, colocados a considerable distancia de un panel de control, donde son comandados alternativamente por una sola llave.

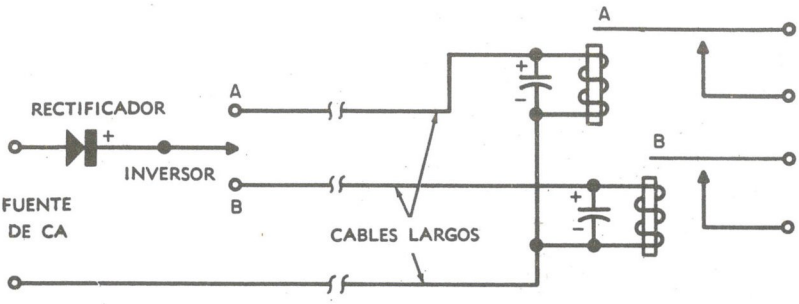


Fig. 3-7. Sistema de control para comandar dos relays remotos, usando tres cables de transmisión.

b) El conmutador es un inversor simple con una posición central NO, de forma tal que puede hacer funcionar uno de los relays, o ninguno.
c) Dado que la distancia entre panel y relays es demasiado grande, se debe diseñar un circuito muy eficiente.
d) Se usa corriente alternada.

Aparentemente la aproximación más simple a la solución de este problema es la del circuito de Fig. 3-7. Un rectificador colo-

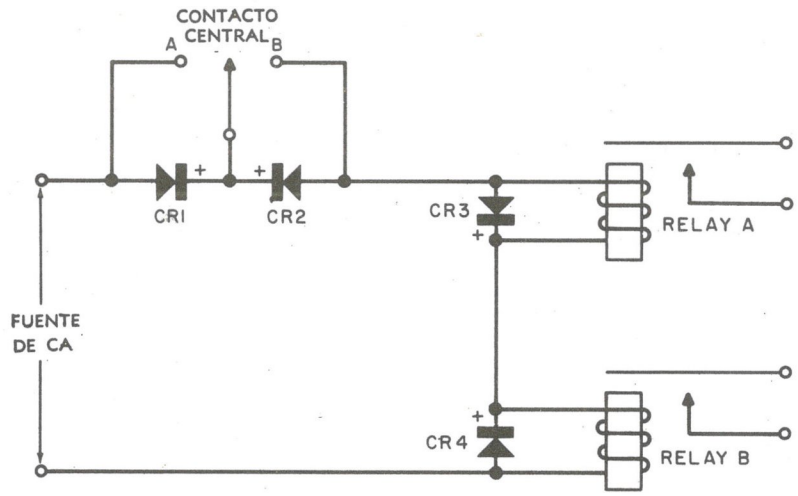


Fig. 3-8. El mismo interruptor que en la fig. 3-7, usando dos cables de transmisión.

cado antes del conmutador, aplica una corriente pulsante al relay A o al B. Cuando la llave se encuentra en el centro ninguno de los relays trabaja. Si bien se usan condensadores sobre las bobinas, pueden emplearse rectificadores invertidos.

Puede idearse un sistema que emplee dos conductores en vez de tres, con lo cual se ahorra el 33⅓% de cobre. Esto se puede realizar empleando el principio de los "relays selectivos". Estudiando el circuito de la Fig. 3-8 se nota que agregando unos pocos materiales se reduce la cantidad de conductor a una tercera parte.

Cuando la llave se encuentra en la posición A, queda cortocircuitado el rectificador Nº 1. La corriente circulará hacia el relay solamente cuando el conductor superior de la línea de CA es negativo. El rectificador 3 se halla en circuito abierto y por lo tanto

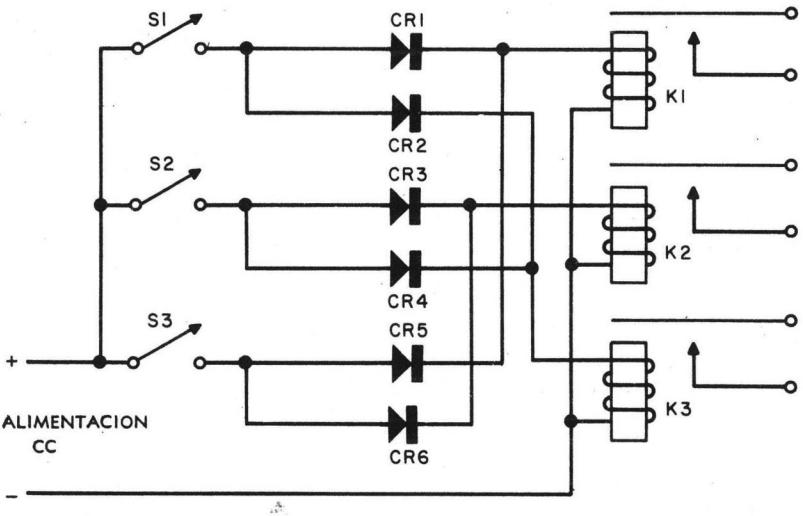


Fig. 3-9. Sistemas de relays selectivos. Cada llave controla dos veces los tres relays.

la corriente circulará por la bobina del relay A. El retorno de la corriente se hace a través del rectificador 4, el cual está polarizado para ese sentido de circulación. El relay B no funciona.

Para el funcionamiento del relay B la llave se mueve a la posición B, cortocircuitando el rectificador Nº 2. Ahora la corriente circulará solamente cuando el conductor superior es positivo. La corriente va desde el conductor inferior a la bobina del relay B (dado que el diodo 4 está en circuito abierto para esta dirección

de corriente). La corriente retorna al extremo superior de la línea de CA, pasando a través del rectificador Nº 3, que en este caso es conductor. Con la llave en la posición central no funciona ninguno de los relays.

Se pueden realizar muchas combinaciones de relays selectivos para una multitud de aplicaciones. La distribución específica depende del resultado deseado, pero el número de combinaciones realizables es prácticamente ilimitado. La Fig. 3-9 ilustra una de las muchas posibilidades.

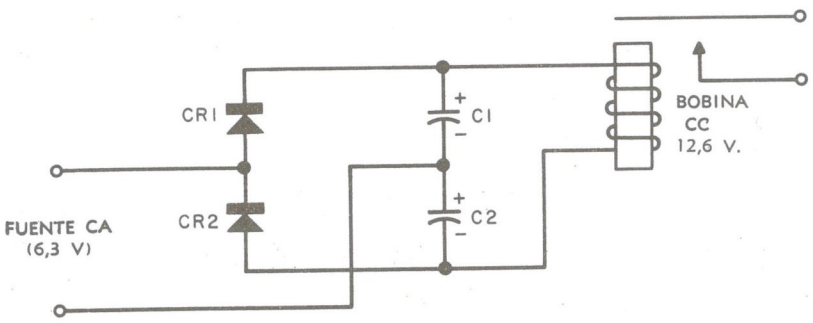


Fig. 3-10. Circuito multiplicador de voltaje que permite el funcionamiento de un relay de CC de alto voltaje, con una fuente de CA de bajo voltaje.

En este conjunto de rectificadores, llaves y relays, cada conmutador opera con dos relays. Las combinaciones son: S1 alimenta a K1 y K3 a través de CR1 y CR2; S2 alimenta a K2 y K3 a través de CR3 y CR4; S3 alimenta a K1 y K2 a través de CR5 y CR6. Estos circuitos selectivos se hallan en intercomunicadores, en computadoras analógicas, y en control de válvulas para sistemas de flúidos.

Multiplicadores de voltaje para relays

Hay ocasiones en que sólo se dispone de CA de bajo voltaje para hacer funcionar relays con bobinas de voltaje algo superior al disponible. Los semiconductores rectificadores pueden emplearse muy bien como multiplicadores de voltaje, para alcanzar el valor deseado. Por ejemplo, supongamos que un relay de 12,6 V CC tiene que ser alimentado por una fuente de 6,3 V CA. El voltaje disponible puede ser duplicado por medio del circuito de la

Fig. 3-10. Los condensadores dobladores de voltaje actúan también como supresores de zumbido.

El funcionamiento del circuito se explica en la siguiente forma: Supongamos que el conductor superior de CA, en un determinado instante es negativo, y el inferior positivo. La corriente circula entonces por CR2 al condensador C2, al cual carga con la polaridad indicada. En el medio ciclo siguiente, la corriente circula hacia C1 a través de CR1, estableciendo una carga de polaridad indicada. C1 y C2 se hallan cargados y en serie con la bobina del relay, y aplican a ésta un voltaje que es la suma de sus potenciales individuales. Cada condensador se carga aproximadamente con el voltaje de pico de la corriente alternada, o sea, $6{,}3 \times 1{,}41 = 8{,}9$ volts, de forma tal que el voltaje total aplicado a la bobina del relay en un ciclo completo es igual a $2 \times 8{,}9$ o sea, 17,8 volts, si se descargara por completo. Sin embargo, el condensador descarga una parte de su energía sobre la bobina del relay durante la parte inactiva del ciclo. Por lo tanto, el voltaje medio aplicado a la bobina es ligeramente mayor que 12,6 volts, asegurando la operación del relay.

Algunos conceptos diferentes entran en juego en el triplicador de voltaje. En el circuito de la Fig. 3-11 (A), suponemos que el voltaje de línea tiene un valor de pico E. Durante el medio ciclo en que el conductor superior de entrada es negativo la corriente circula hacia C1, a través de CR2, y se carga con la polaridad indicada, con un valor aproximado igual a E. Al mismo tiempo, durante ese medio ciclo, la orientación de CR3 es la que permite la conducción, de forma tal que también C3 se carga al valor de pico del voltaje E de línea. El sentido de CR1 no es el que permite la conducción en este medio ciclo, y por lo tanto este rectificador actúa como un circuito abierto. Como C1 está cargado, el punto B es E volts más positivo con respecto al punto A, suponiendo que C permaneciera totalmente cargado.

Cuando se invierte la polaridad de la CA (fig. 3-11 [B]), siendo el conductor inferior negativo con respecto al punto A, CR2 y CR3 no pueden conducir, pero sí puede hacerlo CR1 que tiene la polaridad apropiada para la conducción. Es de notar que C1 y C2 están efectivamente en serie uno con otro cuando CR1 conduce, porque el rectificador en esta conexión se comporta como un circuito cerrado. Por lo tanto, el voltaje almacenado en C1 (entre A y B) se suma al voltaje de línea, cargando a C2 a un valor aproximado a 2E. Con C2 y C3 en serie sobre la bobina del relay, esta última recibe un potencial aproximado a 3E. Por la misma razón expuesta al discutir el doblador de voltaje, el valor medio sobre la bobina del relay es muy cercano al valor RMS del voltaje aplicado

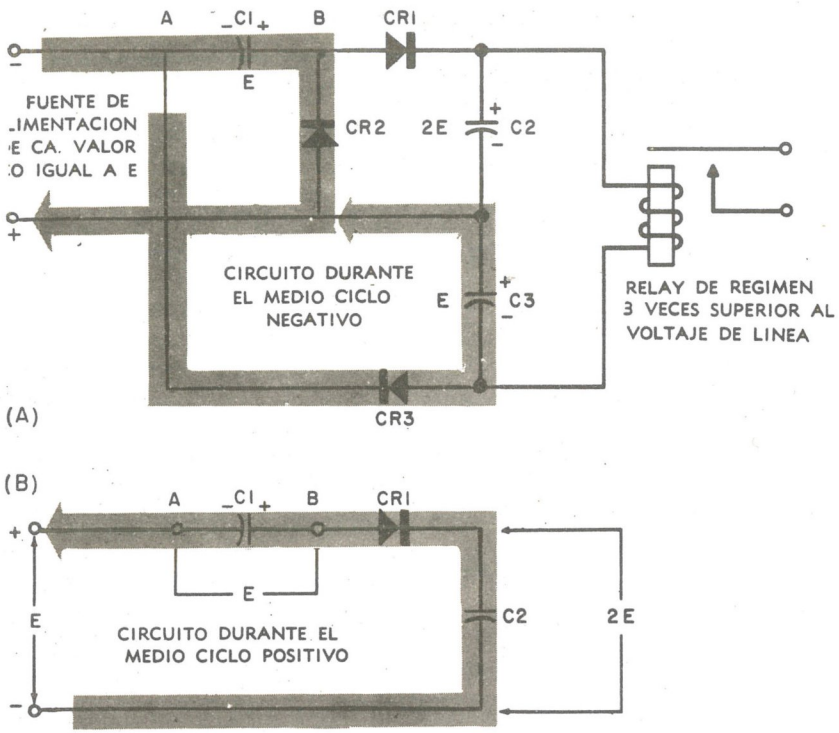


Fig. 3-11. Circuito triplicador de voltaje: (A) Carga del circuito durante el medio ciclo negativo; (B) Circuito significativo durante el medio ciclo positivo.

al sistema. Debe recordarse además, que el voltaje de trabajo de C2 es mayor que el doble del valor de pico de la línea, mientras que C1 y C3 deben ser ligeramente más grandes que el valor de pico del voltaje de entrada. (La aislación de los condensadores siempre debe ser mayor que el voltaje de pico)

Protección de los contactos

Siempre que en un circuito se desconecta una carga, en especial si esta carga es inductiva y la corriente es alta, hay una tendencia a formar un arco, que persiste a medida que se separan los contactos. Si el sistema conmutador está formado por un relay con un par de contactos, el arco persistente y repetido los quema y oxida rápidamente. La vida de un relay puede prolongarse

apreciablemente protegiendo sus contactos de los efectos del arco. Las cargas inductivas son las peores en este sentido.

En la Fig. 3-12 (A) se aprecia un circuito completo en el cual circula una corriente estacionaria a través de una inductancia. Debido a esta corriente, se forma un campo magnético continuo alrededor del núcleo. Los puntos A y B son terminales sobre los cuales existe un voltaje debido a la fem aplicada desde la fuente. El potencial entre esos puntos podemos suponerlo como una caída I.Z (corriente × impedancia de la bobina), sobre los terminales de la bobina.

En el instante de abrir el conmutador, la resistencia sobre los contactos de la llave crece rápidamente a medida que éstos se separan uno de otro y en forma inversa, el campo magnético se retrae dentro del núcleo. En este momento se induce una fem sobre la bobina, cuya dirección tiende a evitar la disminución de la corriente. El voltaje que ahora aparece sobre los puntos A y B (Fig. 3-12 [B]) tiene polaridad inversa, comparada con la

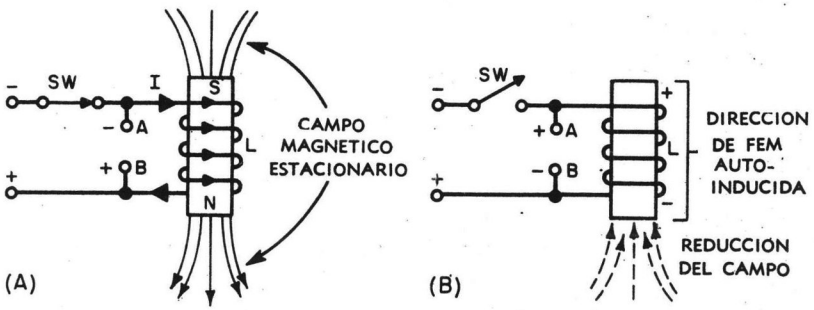


Fig. 3-12. (A) Estado de corriente constante fluyendo a través de una inductancia, L; (B) Circuito con el interruptor abierto, puede producirse un arco sobre la llave.

condición anterior, y debe ser considerado como una fem inducida, no como una caída IZ como en el caso anterior. Es esta fem inducida la que tiende a mantener la corriente sobre los contactos de la llave cuando se separan, produciendo el arco. Frecuentemente, la fem inducida es varias veces mayor que el voltaje inicial.

La supresión del arco puede efectuarse en varias formas diferentes. La más simple es conectar una resistencia apropiada sobre la bobina entre los puntos A y B (Fig. 3-13 [A]). Una resistencia en este punto ofrece un camino más fácil para la corriente inducida que el ofrecido por la resistencia de los contactos, y disipa la energía en forma de calor. Esta resistencia debe ser elegida de

forma tal que su valor sea lo suficientemente alto para no sobrecargar la fuente, y para que no se caliente mientras la llave está cerrada, al mismo tiempo que debe ser lo necesariamente baja como para ofrecer un camino disipativo a la corriente inducida. La desventaja de utilizar una resistencia como supresor de arco es que consume potencia y disipa calor durante el funcionamiento del relay.

En la misma forma pueden usarse condensadores como supresores de arco (Fig. 3-13 [B]). Mientras circula una corriente estacionaria, el condensador se carga al mismo voltaje que la induc-

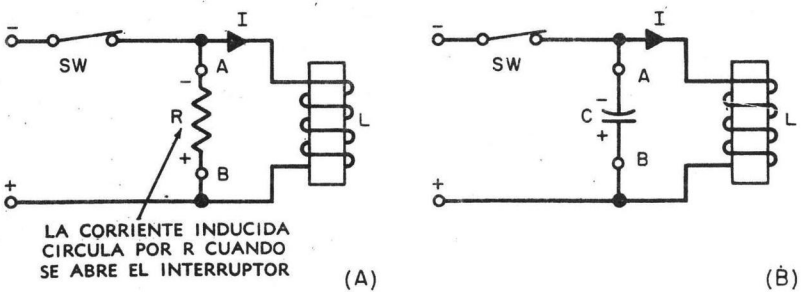


Fig. 3-13. (A) Resistencia colocada sobre el interruptor para evitar el arco cuando éste se abre; (B) Capacitor usado para evitar el arco.

tancia, dado que ambos están en paralelo en A y B. En el momento de abrir el interruptor el campo magnético decreciente induce una corriente que recarga el condensador en la dirección opuesta. La combinación LC forma un circuito oscilante en el cual la energía se intercambia entre L y C, produciendo una fem que rápidamente se amortigua en la resistencia óhmica de la bobina. Dado que, en circuitos de alta inductancia se requieren condensadores de valores altos, la corriente inicial de carga puede ser muy alta, cada vez que se cierra el conmutador. Esto en sí mismo representa una fuente de arcos cuando se cierra la llave, en vez de serlo cuando se abre. Por esta razón, un condensador como supresor de arcos está lejos de ser la solución ideal, y debe ser elegido muy cuidadosamente para evitar dificultades. Los condensadores electrolíticos no pueden ser usados como supresores de arco debido a la inversión de polaridad por la corriente inducida.

Un pequeño rectificador, en cambio, constituye un excelente supresor de arco, sin las desventajas apuntadas. Cuando se cierra el circuito (Fig. 3-14 [A]), estando el rectificador orientado para

que no conduzca, no tiene efecto sobre la fuente y la carga. Al abrir la llave (Fig. 3-14 [B]) la fem inducida tiene una polaridad que se opone a la fuente, cerrando entonces el circuito a través del rectificador. La energía almacenada en el campo magnético se disipa en la resistencia de la bobina y en el rectificador.

La Fig. 3-15 (A) ilustra cómo puede conectarse un diodo rectificador directamente sobre los contactos del relay para suprimir cualquier tendencia de arco cuando se desconecta la carga inductiva de un motor de CC. Cualquier tendencia de corriente inversa, da como resultado una corriente a través del diodo, que circula más fácilmente por éste que por el aire interpuesto entre los contactos abiertos. Es importante hacer notar que la fuente de alimentación para la carga no debe ser invertida de polaridad en este tipo de supresor de arco. Si se hiciera esto, el diodo cortocircuitaría permanentemente los contactos, con el peligro

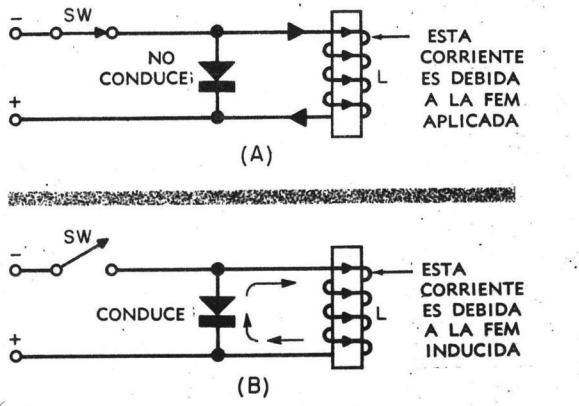


Fig. 3-14. Rectificador colocado sobre la inductancia para evitar el arco cuando se abre el interruptor. (A) Circuito con interruptor cerrado; (B) Circuito con interruptor abierto.

de sobrecargar el diodo en caso que la corriente de carga fuera muy alta.

Por esta razón, los rectificadores dispuestos especialmente para funcionar como supresores de arco, consisten en dos diodos conectados en forma invertida entre sí. Esta distribución es la que se ilustra en la Fig. 3-15 (B). Cuando los diodos están conectados en forma invertida, uno de ellos bloquea el flujo de corriente en una dirección, mientras que el otro lo hace en sentido contrario, por

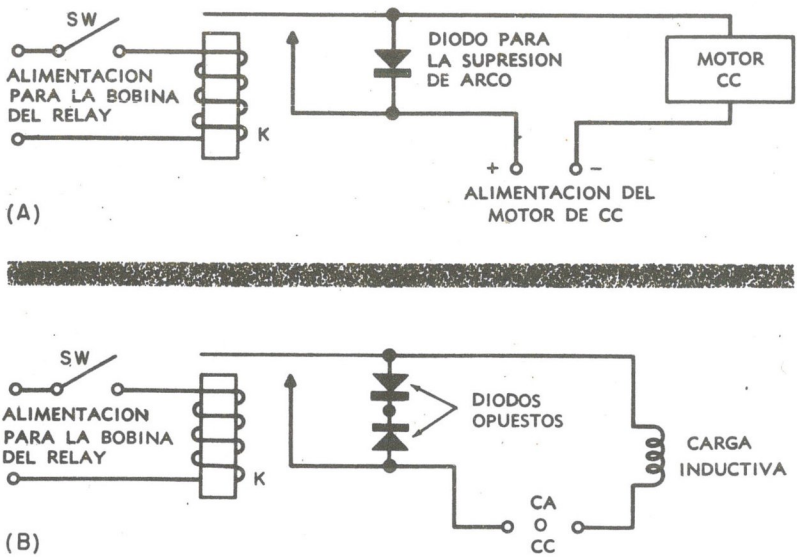


Fig. 3-15. (A) Rectificador supresor de arco conectado sobre los contactos del relay; (B) Conexión de rectificadores opuestos sobre los contactos para evitar el arco y permitir el funcionamiento en CC y CA.

lo cual la fuente puede conectarse en cualquier forma sin que se afecte ninguno de ellos. Esto hace posible, además, el uso de corriente alternada para alimentar la carga.

En este circuito, la corriente inducida pasa a través de los dos rectificadores, debido a la baja resistencia de uno de ellos y a la resistencia inversa del otro, relativamente alta. En cualquier caso, aun la resistencia elevada que ofrece la conexión invertida, es siempre mucho menor que la existente entre los contactos abiertos. Es decir, que puede obtenerse un excelente supresor de arco independientemente de la polaridad de la fuente.

Circuitos electrónicos para relays

En cierto sentido, un relay es un "intermediario" que puede transformar una variación eléctrica en otra variación de orden diferente. Los pequeños impulsos que llegan al relay intermediario pueden controlar grandes corrientes y voltajes; el relay puede servir como un aceptor de impulsos de CA, para traducirlos

en un control de CC. Pero en todos los ejemplos de acciones de relays que hemos visto hasta ahora, el impulso inicial o energizante debe cumplir con los requerimientos de la bobina del relay, para lo cual debe existir previamente la energía necesaria para ésta.

¿Qué podemos hacer entonces en casos en que la energía disponible es tan pequeña que no puede controlar directamente al relay? Al margen de la aplicación, frecuentemente es posible hacer que una válvula electrónica asuma el papel de adaptador fuente-relay. Algunos ejemplos sencillos nos ayudarán a aclarar estos conceptos.

Supongamos que necesitamos que la aguja de un voltímetro toque un contacto de alambre extremadamente fino, en un punto dado, de forma tal que se encienda una luz cuando se alcanza este valor pre-establecido. Sabemos de antemano que un contacto tan fino no puede manejar más que unos pocos microamperes de corriente; además, la presión de contacto entre una aguja y un alambre muy delgado no puede ser muy grande en ningún caso, por lo cual esta baja presión dará como resultado una resistencia de contacto relativamente elevada. Estas condiciones no son las ideales para ningún tipo de relay sensible. El mejor de los relays requiere mucha más corriente que la permitida por los contactos. Por otro lado, no hay relay que pueda tolerar condiciones en las cuales la resistencia puede ser a veces de pocos ohms, y otras veces de varios miles. Este es un caso para resolver con válvula electrónica.

Construiremos primero un circuito aproximado, seleccionando alguna válvula moderna. Si bien hay muchos procedimientos técnicos modernos para computar voltajes, resistencias y cualquier variable de un circuito, nosotros encararemos este problema desde un punto de vista experimental.

Supongamos que tenemos una fuente de CC de 150 volts —ésta puede ser un simple rectificador de media onda con sistema de filtro, trabajando directamente con la línea de canalización— y hemos seleccionado una válvula como la 6BC4, triodo amplificador, miniatura. Una de las primeras cosas que podemos hacer es poner a prueba el circuito mostrado en la Fig. 3-16. Usando un relay de 5000 ohms y 7 mA de corriente, ajustamos el circuito a 10 mA para asegurar pleno funcionamiento. La grilla control está conectada al cátodo, por lo cual, el voltaje de grilla es cero con respecto a éste. Ajustamos luego el potenciómetro de 20.000 ohms hasta que el miliamperímetro colocado en placa marque 10 mA. Antes de haber llegado a los 10 mA, deberá haber actuado la armadura del relay. Se desconecta la fuente de alimentación y se mide la

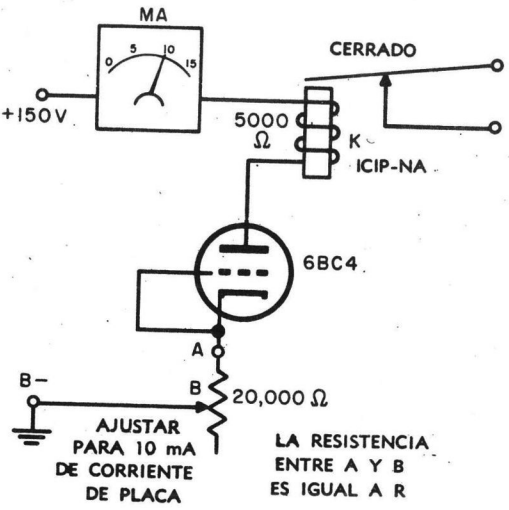


Fig. 3-16. Relay con válvula electrónica. La resistencia del cátodo se varía para obtener el punto de operación del relay.

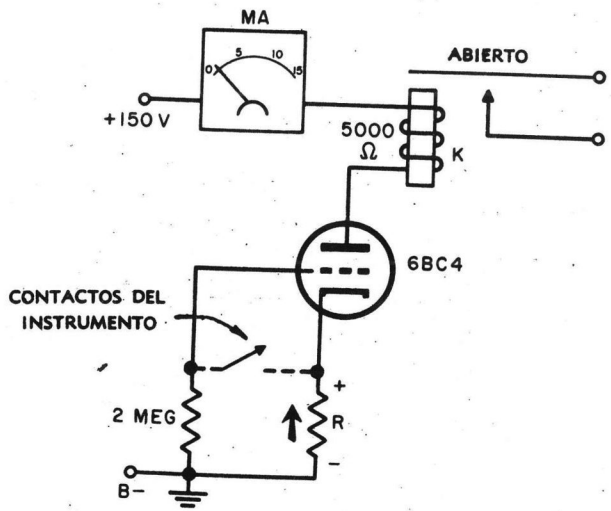


Fig. 3-17. Circuito con válvula electrónica que permite el funcionamiento del relay cuando la grilla se cortocircuita a cátodo.

resistencia en el circuito de cátodo, la cual se reemplaza por una resistencia fija entre los puntos A y B. Probamos ahora si al conectar la fuente opera el relay.

Si la conexión temporaria de grilla se cambia como en la Fig. 3-17, ya no se hallará a potencial de cátodo, sino que estará a potencial cero o de tierra, debido al flujo de corriente a través de R en la dirección indicada por la flecha que produce una caída de voltaje que hace al cátodo más positivo que el voltaje de referencia. Por lo tanto, la grilla es más negativa que el cátodo, y no hay corriente de grilla. El bias negativo reduce la corriente a través de la 6BC4 y la armadura del relay se abre.

Para completar el sistema es necesario una llave que cortocircuite la grilla, es decir, que la lleve desde potencial cero a potencial de cátodo. Este conmutador se conecta directamente entre grilla y cátodo, como se indica en la ilustración. En nuestro ejemplo, la aguja del instrumento y su contacto de alambre forman el conmutador. La corriente a través de este contacto será sólo de pocos microamperes, por lo cual, aun si la resistencia del contacto fuera grande —digamos, de varios miles de ohms— el sistema funcionaría, porque la caída de voltaje sobre los contactos sería grande.

Este ejemplo de relay con circuito a válvula electrónica puede ser modificado en muchas formas diferentes, de manera de obtener sistemas disparados por luz, calor, sonidos, vibraciones, pequeños pulsos eléctricos y ondas radioeléctricas. Estos sistemas, sumados a aquellos que utilizan válvulas thyratrones y transistores, se clasifican todos bajo la denominación de "relays electrónicos". La mayoría de estos tipos los iremos discutiendo en los capítulos siguientes.

CUESTIONARIO

1. Un relay tiene un consumo de 100 miliwatts y una resistencia de 1.000 ohms. ¿Qué voltaje debe aplicarse a su bobina para que funcione?
2. ¿Si el consumo de un cierto relay es 1 watt y su resistencia 100 ohms, qué corriente debe circular para que funcione?
3. Explique por qué un rectificador de onda completa usado con un relay de CC requiere menos protección contra zumbido que uno operado con un rectificador de media onda
4. Establezca claramente por qué los diodos se han hecho tan populares como supresores de arco, aun cuando su costo inicial pueda ser más alto que los condensadores o resistencias.

5. Explique cómo funciona el rectificador invertido para evitar el zumbido del relay.
6. ¿Qué se entiende por relay de CC polarizado? Dibuje las conexiones mostrando cómo se convierte un relay de CC en uno polarizado.
7. ¿Qué se entiende por relay selectivo? Después de observar las figuras 3-8 y 3-9, sugiera una o más posibilidades de aplicaciones de estos sistemas.
8. Con la ayuda de un diagrama explique cómo funciona un doblador de voltaje. ¿Bajo qué condiciones puede ser usado tal circuito para energizar relay?
9. Suponga que aun los pocos microamperes en los contactos de la Fig. 3-17 fueran considerados intolerables. ¿Se puede emplear algún método con una o dos resistencias de valor bajo, para evitar que circule corriente por los contactos? (Ayuda: no puede circular corriente de grilla si ésta es uno o dos volts más negativa que el cátodo).
10. ¿Qué se entiende por rectificadores invertidos? Describa una aplicación mostrando claramente su acción en el circuito.

4. Circuitos de relays electrónicos

Clasificación de relays electrónicos

El circuito de relay electrónico, descripto al final del capítulo anterior, es sólo una de las formas de relays a válvulas. Será de gran ayuda organizar nuestro pensamiento tratando de ordenar todas las formas posibles que pueden tomar los relays electrónicos.

Una forma de clasificación posible relaciona el sistema que se utiliza para vincular al impulso energizante inicial con el relay. En realidad este sistema es una especie de amplificador de CC, en el cual una pequeña señal se amplifica lo suficiente como para operar un relay. La válvula de vacío es la veterana de los amplificadores de CC, y aun en la actualidad presta amplios servicios en los modernos relays electrónicos. Frecuentemente, sin embargo, pueden obtenerse mejores resultados usando thyratrones como amplificadores de CC (estas válvulas serán analizadas más adelante). De más reciente adquisición es el transistor, el cual, en muchas aplicaciones ha superado a la válvula de vacío y al thyratrón, en aplicaciones de relays, particularmente cuando es necesaria la miniaturización. Podemos dividir aún a los transistores en pequeños grupos, tales como amplificadores de corriente, amplificadores de potencia y thyratrones de estado sólido, como los de juntura única.

Una segunda aproximación a la clasificación de los relays electrónicos se podría basar en la naturaleza de la fuente de disparo. Como hemos mencionado en el Capítulo 3, los relays electrónicos pueden diseñarse para aceptar cambios de temperatura, nivel o frecuencia de sonido, nivel de luz, amplitud de ondas electromagnéticas, y muchas otras categorías de señales disparadoras.

Usaremos ambas formas de clasificación de la manera más lógica que permita el objeto bajo estudio. Estudiaremos primero los principios que rigen la aplicación de los thyratrones y transistores como amplificadores de CC y su comportamiento con diversas fuentes de señales.

Revisión de los conceptos fundamentales del thyratrón

La forma más simple de thyratrón, es semejante en aspecto físico y en representación esquemática, a un triodo. Contiene un elemento emisor de electrones (cátodo), un elemento de control (grilla) y un electrodo positivo (ánodo o placa). El espacio interelectródico no se halla al vacío; luego que se ha eliminado el aire, la ampolla se llena con un gas a presión perfectamente controlada. La presencia del gas se representa en el esquema por un punto

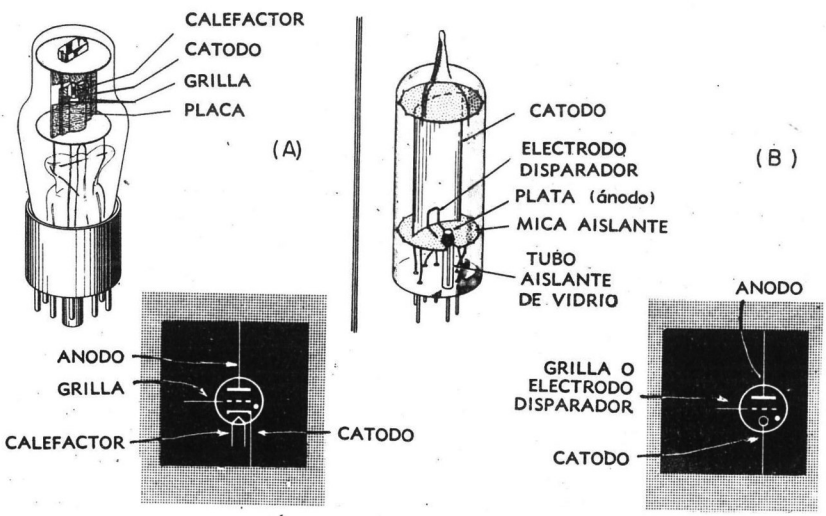


Fig. 4-1. Válvulas thyratrones y sus símbolos: (A) Válvula de calentamiento indirecto (RCA); (B) Válvula de cátodo frío.

cercano al cátodo (Fig. 4-1[A]). Algunos thyratrones, tales como el 884 y 2050, utilizan un cátodo de calentamiento indirecto, como en las válvulas de vacío, otros, tales como el 5823, operan directamente por descarga del cátodo frío (Fig. 4-1 [B]).

Las principales diferencias de comportamiento entre la válvula y el thyratrón, se ilustran en la Fig. 4-2. Si se mantiene constante el voltaje de placa de una válvula, mientras varía el de grilla control en dirección positiva con respecto al cátodo, la corriente de placa aumenta siguiendo una curva suave. Nótese que la corriente anódica de un thyratrón muestra un comportamiento distinto; no hay cambios de corriente anódica mientras la grilla se hace más positiva, hasta que alcanza un valor que se llama

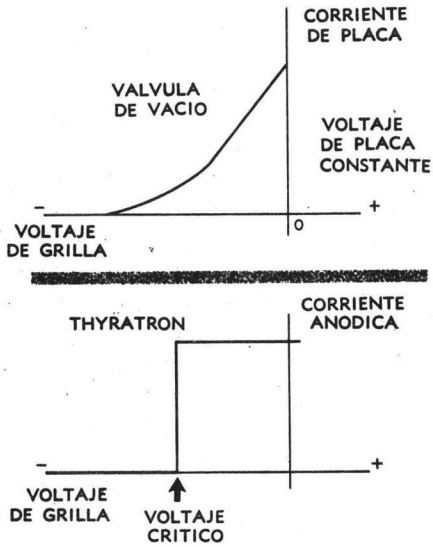


Fig. 4-2. Variaciones de la corriente de placa para una válvula de vacío y un thyratrón, cuando se aumenta el voltaje grilla-cátodo.

"potencial crítico". Al llegar a este voltaje específico, la corriente anódica varía entre cero y máximo. El punto en el cual se produce este repentino aumento de la corriente se denomina "potencial de ignición" o "potencial de disparo" del thyratrón. Este comportamiento aparentemente anómalo se debe a la ionización del gas contenido en la ampolla.

Una segunda diferencia existente entre la válvula de vacío y el thyratrón, es la pérdida de control de grilla que aparece en este último. En la válvula, al hacer la grilla más negativa, disminuye la corriente anódica, siguiendo la misma curva, pero en

sentido contrario al recorrido al aumentar. En cambio, una vez que se ha producido el disparo del thyratrón, la grilla no puede llevarlo nuevamente al corte. Para desionizarlo, es necesario cortar momentáneamente el potencial anódico. Una vez hecho esto la grilla ejerce nuevamente su control y se puede proseguir la misma secuencia.

Relay electrónico con thyratrón

¿Qué ventajas posee para el relay, el thyratrón frente a la válvula? En el rápido incremento de su corriente anódica se encuentra la respuesta. Para explicar esto, consideremos primero

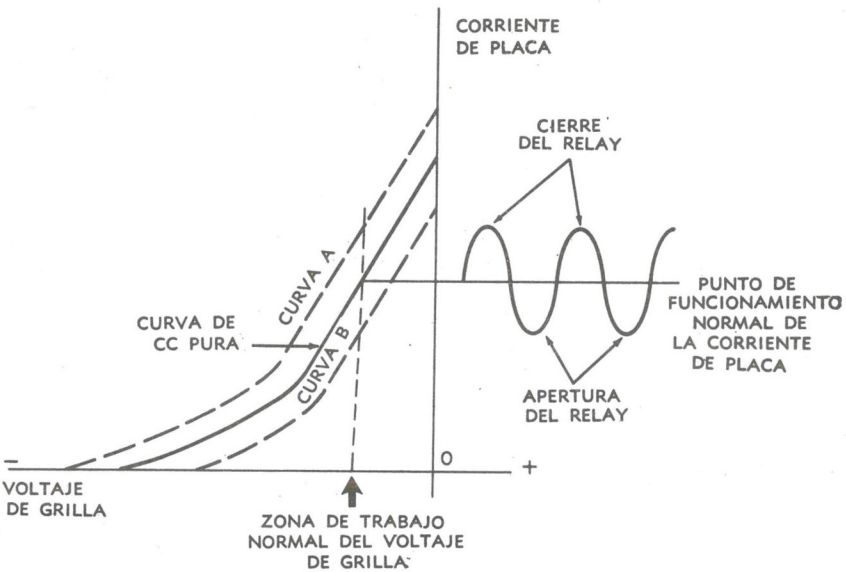


Fig. 4-3. Curva voltaje de grilla-corriente de placa, mostrando como un ripple en la fuente de placa puede hacer oscilar el relay cuando la variación de voltaje de grilla es pequeño.

el funcionamiento de un relay en un circuito con válvula electrónica, en el cual la señal de disparo varía muy poco. Las pequeñas variaciones son características de muchos tipos de sistemas foto-eléctricos, y de los activados por sonidos. Imaginemos que la fuente de señal hace más positiva a la grilla. Cuando el voltaje de grilla aumenta en dirección positiva, la corriente anódica va

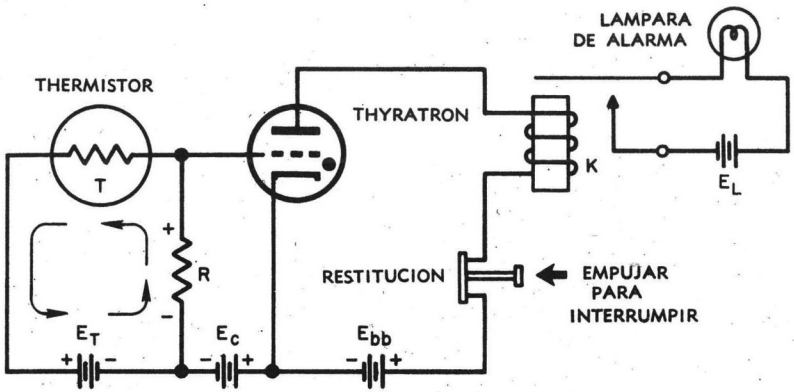


Fig. 4-4. Alarma de temperatura operada a batería usando un thyratrón y una resistencia sensible a la temperatura (thermistor)

aumentando lentamente, y se va aproximando a la corriente de funcionamiento del relay por pasos infinitesimales. Solamente si el voltaje de placa proviene de una fuente de CC absolutamente pura, con ripple prácticamente cero, se alcanza la corriente real de trabajo, porque si no, el relay tiende a cerrar y abrir rápidamente con la frecuencia de línea. Pensando un poco podemos ver por qué sucede esto. Es claro que si el voltaje de placa es pulsante, su corriente también lo será. Al alcanzar la grilla el potencial de trabajo del relay, la corriente de placa tiende a variar por encima y por debajo de la corriente energizante del relay, produciendo el zumbido de éste. Esto significa que la fuente de voltaje anódico en un sistema de esta naturaleza debe estar extremadamente bien filtrada, expediente no siempre económico. En las curvas de la Fig. 4-3, la curva de CC pura indica cómo varía la corriente de placa, si la fuente de alimentación no tiene ripple. Si hay zumbido presente, la curva característica oscilará entre las curvas A y B a la frecuencia de línea. Estas fluctuaciones hacen oscilar la armadura del relay porque alteran su corriente de trabajo.

En el thyratrón no ocurre esto porque su acción es del tipo "todo o nada". Una vez que se ha producido la ignición, la corriente anódica salta a un valor muy por encima del necesario para el relay; aun grandes variaciones del voltaje de grilla no afectan la corriente de placa, dado que la grilla pierde control una vez producida la ionización. En la Fig. 4-4, se ilustra un ejemplo sencillo. Se trata de una alarma de temperatura operada con baterías. Para la comprensión del circuito se han dibujado cuatro

baterías separadas, pero en la práctica este sistema de alarma funciona con una fuente a rectificador y filtro.

El thermistor es una resistencia sensible a la temperatura, con coeficiente negativo de resistencia; esto significa que su resistencia disminuye al aumentar la temperatura. En este circuito una lámpara de alarma se enciende cuando la temperatura alcanza un valor determinado por encima de la temperatura ambiente. Partiendo de la temperatura normal ambiente (20°C), la resistencia del thermistor es muy alta y por lo tanto muy poca corriente circula en el circuito indicado por las flechas. Supongamos que esta corriente es tan pequeña que la caída de tensión sobre la resistencia R es despreciable. Entonces, el lado negativo de Ec, puede considerarse como conectado directamente a la grilla del thyratrón, haciéndola negativa con respecto al cátodo. El thyratrón está en estos momentos inactivo.

Ahora imaginemos que la temperatura ambiente aumenta, haciendo bajar proporcionalmente la resistencia del thermistor. Durante el intervalo en que esto va ocurriendo, la corriente a través de R va aumentando, produciendo una caída de voltaje con la polaridad indicada. Nótese que este voltaje tiende a bloquear el bias aplicado por Ec, de modo que podemos decir que la grilla del thyratrón varía en dirección positiva. En una válvula de vacío, esto produciría un ligero aumento de la corriente de placa, en cambio, en el thyratrón no sucede nada de lo dicho hasta que la caída sobre R alcanza un valor que hace a la grilla lo suficientemente positiva para ponerlo en ignición. En este momento entra en función el relay, en forma firme y positiva debido al instantáneo aumento de la corriente de placa. Como se vio previamente, una vez que el thyratron se ha encendido permanece en tal estado, indiferente a las variaciones en el circuito de grilla. La alarma o la luz, permanecen funcionando, indicando que la temperatura especificada ha sido alcanzada. Si se desea restituir el sistema para otro ciclo de operación, se debe apretar el botón Restitución, que abre el circuito anódico del thyratrón, desionizándolo instantáneamente.

Luego describiremos un circuito práctico con thyratrón que utiliza la CA de la línea de alimentación, en vez de usar baterías. En cualquier caso, el principio es el mismo.

Relay a thyratrón sin retención

Es posible que la acción retentiva del thyratrón pueda ser indeseable en ciertas aplicaciones, posiblemente el diseñador del sistema de alarma anterior podría desear que la lámpara se

apagara cuando la temperatura cae por debajo del valor crítico, sin la necesidad de apretar el botón de restitución. Las modificaciones necesarias, son, sin embargo, muy simples. La batería anódica (o fuente de CC) debe ser reemplazada por una fuente de CA, y un sistema para evitar zumbido, colocado sobre la bobina del relay. Este cambio es el que se ilustra en la Fig. 4-5.

Dado que en el thyratrón pasa corriente solamente de cátodo

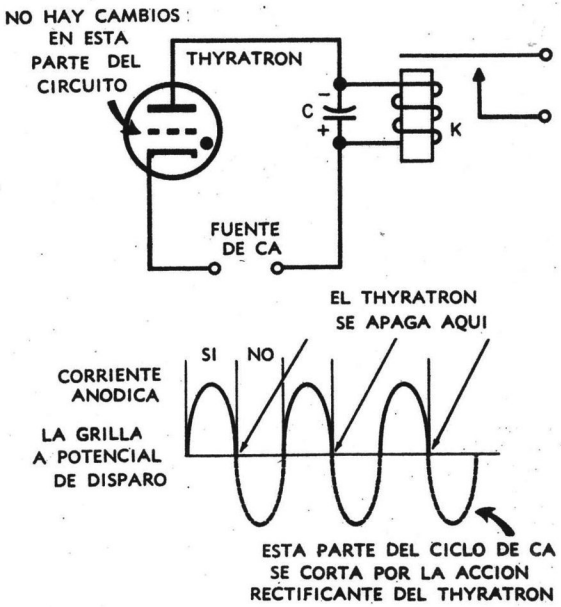


Fig. 4-5. Circuito práctico para thyratrón operado con CA. El condensador C evita las oscilaciones.

a placa, se comporta como un rectificador de media onda. Suponiendo que la grilla se ha hecho lo necesariamente positiva como para que el circuito anódico sea conductor, la corriente de placa circula solamente durante la mayor parte del medio ciclo positivo. Cada vez que la onda alcanza el eje cero, el thyratrón se extingue, dado que esto equivale a una pérdida de voltaje anódico. Durante el medio ciclo negativo, la válvula no conduce. Se vuelve a encender cuando el voltaje anódico es positivo, en el medio ciclo siguiente, suponiendo que aún la grilla tiene un potencial positivo suficiente como para producir el disparo. Si el potencial de grilla cae por debajo del valor crítico, el thyratrón se extingue

en el medio ciclo negativo siguiente. En esta condición, la grilla mantiene un control total, impidiendo la ignición cuando su potencial es menor que el valor crítico.

Relay con thyratrón de cátodo frío

Los thyratrones de cátodo frío han aumentado en popularidad en los últimos años, entre los diseñadores y fabricantes, debido a su simplicidad y bajo consumo de potencia. Como no hay calefactor no es necesario batería o transformador adicional. Usando una resistencia sensible a temperatura, como en el circuito previo, se puede diseñar un relay electrónico muy eficiente, para trabajar con CA, con un mínimo de partes (Fig. 4-6).

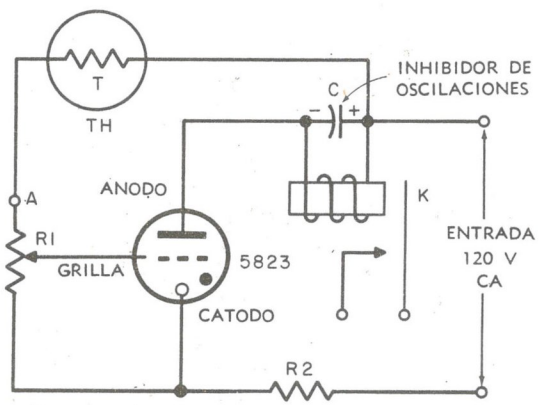


Fig. 4-6. Relay electrónico con thyratrón del cátodo frío usando un thermistor como disparador.

A diferencia de los thyratrones de calentamiento indirecto (884; 885), el 5823 se enciende solamente cuando su elemento de control o grilla es casi tan positiva como su ánodo. La ignición puede ser producida por un pulso positivo, o por un potencial positivo permanente. En este circuito se observará que cuando la entrada es positiva, cualquier posición de R1 hace que la grilla sea positiva con respecto al cátodo. Cuando el cursor se mueve hacia el punto A, el potencial de grilla aumenta en dirección positiva y puede hacer que la válvula encienda, independientemente de la resistencia de Th. Por lo tanto, R1 es un control de sensibilidad y se ajusta en forma tal que la grilla alcance el potencial de ignición cuando la resistencia del thermistor ha caído (debido al aumento de temperatura) al valor apropiado.

El ánodo tiene la misma polaridad de CA a través de la bobina del relay que la que se aplica al elemento de control de la válvula; esto significa que placa y grilla varían con la misma fase de la CA de entrada. Para operar el relay, la grilla debe estar a un potencial cercano al de placa. La resistencia R2 limita la corriente máxima a través de la válvula, manteniéndola en un valor de seguridad, y se selecciona para conformarla con los requerimientos de la válvula, teniendo en cuenta también la resistencia del relay. El condensador C es para evitar el zumbido de la armadura.

Relay electrónico transistorizado

Para aplicaciones en relays en las cuales la fuente de alimentación debe estar limitada a unos pocos volts, los transistores pueden prestar un servicio muy efectivo como amplificadores de CC. En

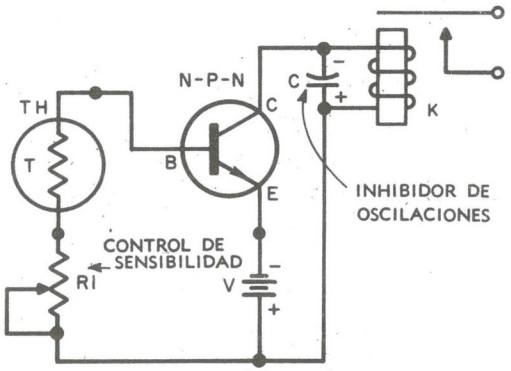


Fig. 4-7. Relay transistorizado usando un transistor N-P-N como amplificador de CC.

la Fig. 4-7 se ilustra un circuito a transistor equivalente al sistema con thyratrón que hemos discutido previamente. Si bien no es posible dar una explicación completa sobre los transistores en este libro, analizaremos el funcionamiento del amplificador de CC *.

La batería aplica un voltaje entre el emisor (E) y el colector (C) a través de la bobina del relay. A medida que se polariza positivamente la base (B), disminuye la corriente emisor-colector demasiado pequeña para energizar el relay. Si la resistencia del

* Para una información completa sobre transistores ver: "Transistores y diodos modernos" y "Proyectos con transistores", ambos de esta editorial.

thermistor a temperatura ambiente es muy alta (500.000 ohms) y el control de sensibilidad R1 se coloca en su máxima resistencia, la pequeña corriente de base es insuficiente para producir una corriente de colector capaz de mover la armadura. Entonces se ajusta R1 a un valor tal que, unido a la disminución de resistencia del thermistor al aumentar la temperatura, el sistema responde a una determinada temperatura preestablecida. La disminución de resistencia del thermistor permite la circulación de una gran corriente de base, que en definitiva produce una gran corriente de colector, suficiente para energizar la bobina del relay. El condensador C tiene una doble función, ayuda a evitar el golpeteo del relay cuando la corriente de colector alcanza lentamente su valor, y sirve además para absorber la corriente autoinducida de la bobina en el momento en que abre el relay. Los transistores se dañan fácilmente con sobre-tensiones y por lo tanto se los debe proteger cuidadosamente.

Lo que sigue de este capítulo será dedicado a los relays electrónicos que utilizan variadas fuentes de disparo. Independientemente del sistema usado para iniciar la acción del relay, el usuario queda libre de utilizar el amplificador de CC —una válvula de vacío, thyratrón o transistor— que mejor satisfaga sus necesidades. La elección de un amplificador de CC depende de la potencia de la fuente disponible y de la ganancia necesaria para el funcionamiento correcto.

Relays operados con luz

Los convertidores de energía luminosa se han agrupado convenientemente en tres categorías fundamentales:

1) *Fotoemisivos.* — Un elemento fotoemisivo (Fig. 4-8 [A]) en un sistema que aumenta o disminuye la emisión electrónica entre un cátodo y un ánodo, cuando la luz cae sobre el cátodo. La emisión es afectada también por las variaciones de la longitud de onda de la luz incidente. Las válvulas fotoeléctricas son elementos fotoemisivos.

2) *Fotovoltaicos* (o *Fotogeneradores*). — El selenio, silicón y otros semiconductores tienen una tendencia a generar una fem cuando se los ilumina con una radiación de intensidad suficiente y longitud de onda definida. La fem generada puede ser amplificada y usada como disparador en un relay. Las baterías solares (Fig. 4-8 [B]) y dispositivos similares son elementos fotovoltaicos.

3) *Fotorresistivas* (o *Fotoconductoras*). — Ciertos compuestos, tales como sulfuro de cadmio y el seleniuro de cadmio varían su resistencia cuando actúan sobre ellos las radiaciones del espectro

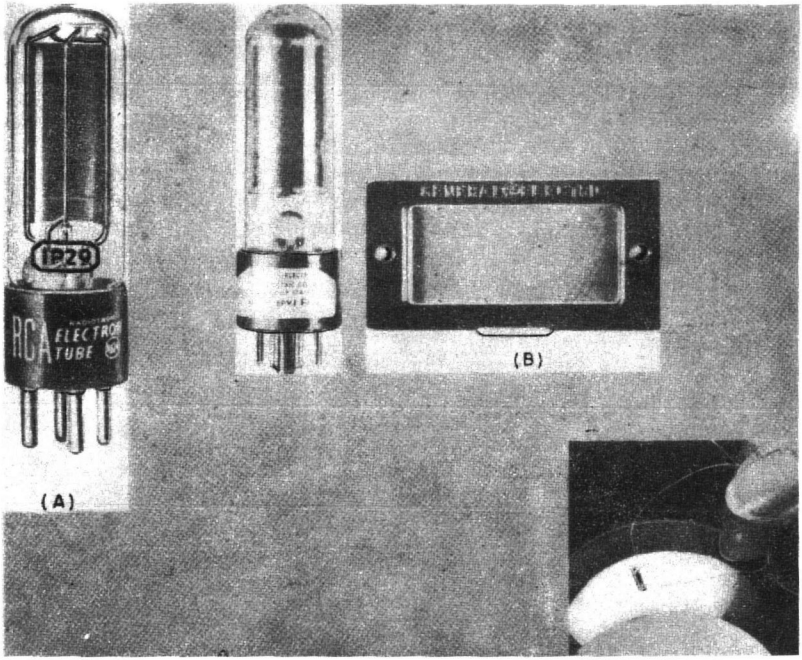


Fig. 4-8. (A) Célula fotoeléctrica típica, RCA; (B) Ejemplos de células fotovoltaicas de selenio. Tipo PV-1, herméticamente selladas y montadas. General Electric Company. (C) Célula fotoconductora: Tipo Ektron II, sin montar. Eastman Kodak Company.

visible y del infrarrojo. Estas variaciones se transforman fácilmente en energía eléctrica para iniciar el funcionamiento de un relay. En la Fig. 4-8 (C) se muestra un elemento fotoconductor.

Relay combinado con elemento fotorresistivo y con thyratrón

En la Fig. 4-9 se ilustra el circuito de un foto-relay muy sensible que utiliza un elemento fotoeléctrico de seleniuro de cadmio (CelSe) y un thyratrón 5823, de cátodo frío. Analizando el circuito paso a paso, veremos primero el circuito principal de la bobina del relay. Si el thyratrón se enciende y se hace conductor, queda formado un circuito serie (como el que se ilustra en la Fig. 4-10) que incluye a la resistencia R1, al circuito cátodo-placa del thyratrón (patas Nº 3 y Nº 1), y la bobina del relay —todos

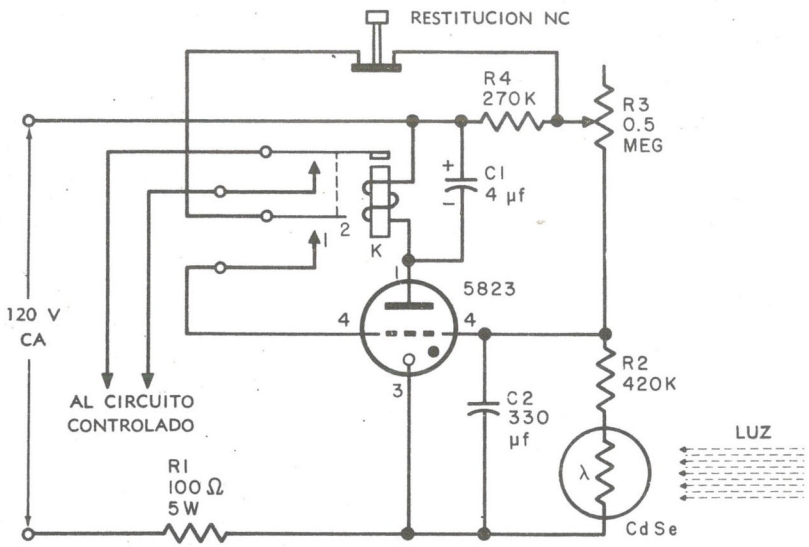


Fig. 4-9. Fotorelay sensible usando un thyratrón de cátodo frío. El relay doble interruptor necesita retención.

conectados directamente sobre la fuente de CA. Dado que el thyratrón rectifica cuando se enciende, el relay utilizado es de CC, con una bobina de 2500. ohms y se usa un condensador C1 para evitar zumbidos.

En la Fig. 4-11 se ha dibujado el sistema de encendido en forma simplificada. El circuito está conectado de forma tal que funcione el relay cuando se interrumpe el haz de luz. Consideremos primero qué es lo que sucede cuando la célula CdSe está iluminada. El

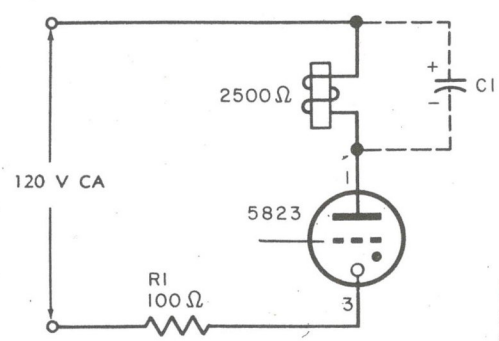


Fig. 4-10. Diagrama simplificado mostrando el circuito del thyratrón cuando está encendido.

circuito serie comprende R4; R3; R2, el elemento CdSe, y R1. Todo conectado a la fuente de CA. Con la grilla y el cátodo del thyratrón conectados como se indica, este circuito serie actúa como un divisor de voltaje sobre la fuente de CA, aplicando una porción de voltaje de entrada entre la grilla y el cátodo. Si R3 se ajusta a unos 500.000 ohms, y la fotocélula está iluminada, el potencial sobre la grilla de la 5823 no es lo suficiente para encender la válvula. Si se reduce R3, se alcanzará un punto en que el voltaje de grilla de la 5823 aumente lo suficiente para disparar el thyratrón. En uso normal, R3 permanece en un valor bastante más alto que éste, para evitar el funcionamiento del relay con

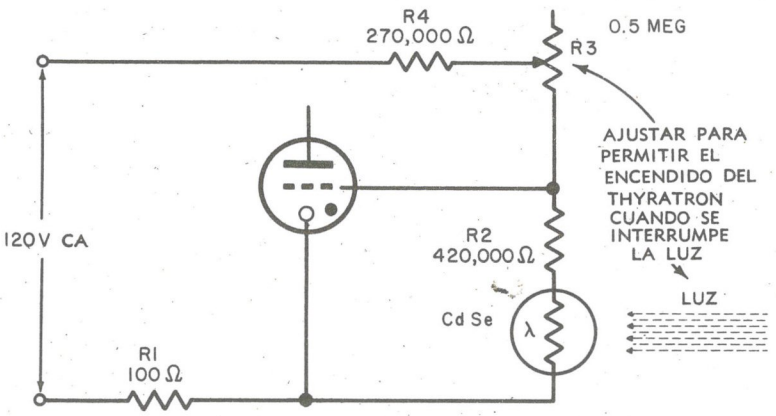


Fig. 4-11. Diagrama del circuito de grilla del thyratrón.

la fotocélula iluminada. Supongamos ahora que se interrumpe el haz de luz. Esto produce el aumento de la resistencia de la fotocélula llevándola a un valor sustancialmente más alto que el anterior. El efecto sobre la acción divisora de voltaje es alejar a la grilla del potencial de cátodo y acercarlo al voltaje anódico. Cuando la grilla alcanza este potencial, se enciende el thyratrón, activando el relay.

En todo el análisis anterior se ha omitido la llave *restitución,* vamos a suponer ahora que esta llave está abierta. Veamos qué sucede cuando el haz de luz ilumina nuevamente la fotocélula. La grilla cae a su potencial inicial y el thyratrón se apaga cuando el voltaje de CA aplicado pasa por cero, soltando la armadura del relay. Por lo tanto, con el interruptor de *restitución* abierto, este circuito sigue la misma secuencia si-no del haz de luz interrum-

pido y restaurado. Supongamos ahora que se cierra el interruptor *restitución* mientras la luz aún ilumina la fotocélula (Fig. 4-12 [A]). Dado que los contactos 1-2 del relay están abiertos, la llave no tiene ningún efecto. Pero cuando se interrumpe el haz de luz (Figura 4-12 [B]) cerrando estos contactos, la llave cortocircuita entonces R3 y lo elimina del divisor de voltaje. Con R3 cero, el potencial de grilla es suficientemente alto para mantener el thyratrón ionizado aun cuando se vuelva a iluminar nuevamente. Por lo

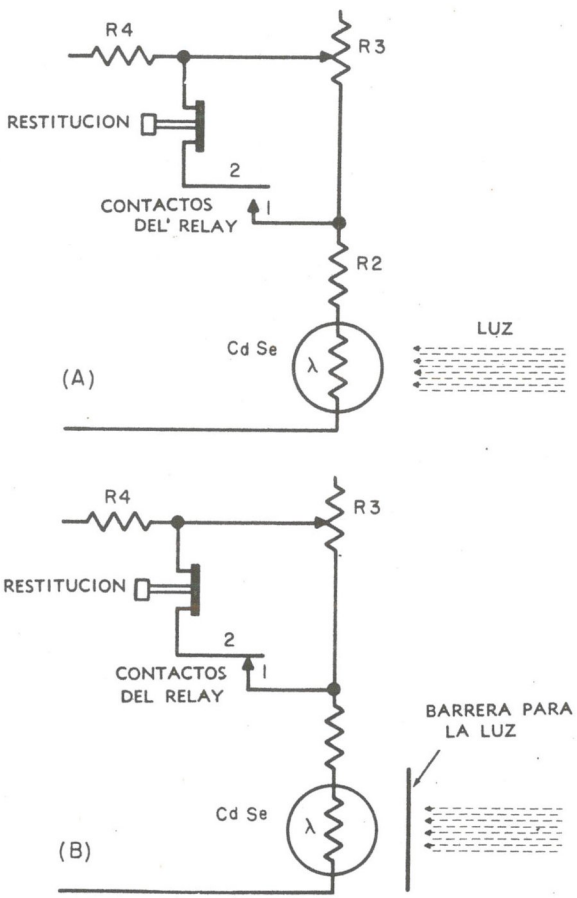


Fig. 4-12. (A) Circuito de grilla antes del encendido; (B) Circuito de grilla después del encendido. La acción del relay hace que R3 quede cortocircuitado, y el relay puede accionarse aun cuando la luz es interrumpida.

tanto, el relay queda retenido y este circuito puede usarse como alarma contra los ladrones. Una vez disparado, la válvula puede ser desionizada abriendo la llave *restitución*, mientras la fotocélula está iluminada.

El condensador C2 aumenta la sensibilidad de este circuito, creando un potencial de ignición sobre sus terminales cuando las condiciones son correctas para el disparo, ayudando con su voltaje de pico bastante alto, a alcanzar la ionización.

Relay con válvula de vacío combinado con elemento fotoemisivo

En la Fig. 4-13 se ilustra un circuito simple que utiliza un mínimo de componentes y que trabaja directamente con 120 V. CA. La célula fotoeléctrica es del tipo de alto vacío, en el cual, el aumento de la intensidad de luz produce un aumento de la emi-

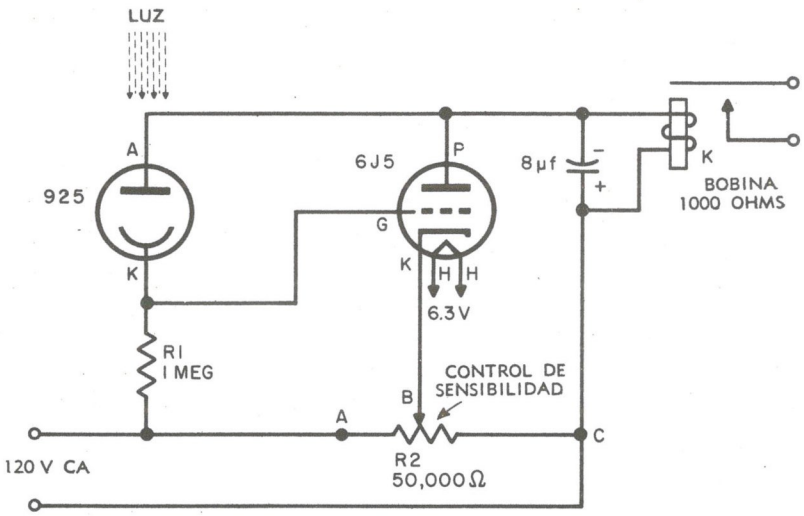


Fig. 4-13. Relay electrónico usando una célula fotoeléctrica y un amplificador.

sión electrónica entre cátodo (K) y ánodo (A). Es mejor comenzar el análisis del comportamiento del circuito considerando la célula fotoeléctrica a oscuras.

Para esta condición, la corriente en la fotocélula es extremadamente pequeña, y puede considerarse cero. No circula corriente por R1 y no hay caída de voltaje sobre ella; por lo tanto, la

grilla de la 6J5 se encuentra al mismo potencial que el punto A, sobre el lado izquierdo del potenciómetro. Si en este momento la CA tiene una polaridad tal que el punto C es positivo y el A es negativo, entonces el punto B debe ser positivo con respecto de A. Si el cursor de R2 está correctamente situado, el cátodo (conectado a B) de la válvula será lo suficientemente positivo para evitar la corriente de placa que haga funcionar al relay. Con esta misma polaridad de CA, la placa de la 6J5 y el ánodo de la 925, son ambos positivos.

En el segundo medio ciclo de CA, los dos ánodos son negativos con respecto a sus cátodos, y no circula corriente de placa, cualesquiera sean las condiciones de luz. Por esta razón solamente necesitamos considerar el medio ciclo en que ambas placas son positivas.

Iluminemos ahora la célula fotoeléctrica de forma tal que su corriente aumente apreciablemente. Esta corriente, circulando por R1 produce una caída de voltaje que hace que la parte superior de R1 sea positiva. Si la caída es bastante grande, el potencial de grilla se acercará al voltaje de cátodo y la corriente de placa aumentará hasta el punto de trabajo del relay. La 6J5 se comporta como un rectificador y puede usarse entonces un relay de CC con un condensador en paralelo.

R2 es un control de sensibilidad. Si el cursor se mueve hacia A, la sensibilidad aumenta, dado que se reduce el potencial positivo de cátodo con respecto a grilla, reduciendo el bias. Este mismo movimiento aumenta la sensibilidad en otra forma, al aumentar el voltaje cátodo-placa, a medida que el cursor gira hacia A. La sensibilidad disminuye cuando el cursor se mueve hacia C; las razones en este caso son opuestas a las anteriores. Este circuito tiene la gran ventaja de su simplicidad, pero no lo es tanto como el que hemos discutido anteriormente. Es de notar además que se necesita un transformador de 6,3 V (no indicado) para el filamento de la 6J5.

Relay a transistor combinado con elemento fotovoltaico

Una célula fotovoltaica y un amplificador de CC a transistores, son una buena combinación; ambos son sistemas semiconductores y pueden ser fácilmente adaptados uno a otro. Si bien una fotocélula de selenio o de silicio puede operar un relay con la sola ayuda de un transistor, se puede ganar mucho en sensibilidad usando un par de transistores en circuito complementario, como se muestra en la Fig. 4-14.

La célula fotovoltaica desarrolla una pequeña fem sobre sus

terminales cuando se la ilumina; la polaridad de la célula es importante y debe ser tenida en cuenta con referencia al primer transistor, como se indica en el diagrama. La fem proveniente de la fotocélula se aplica entre el emisor y base produciendo una circulación de corriente. El colector de TR1 obtiene su potencial negativo a través del camino emisor-base ofrecido por TR2, y, con

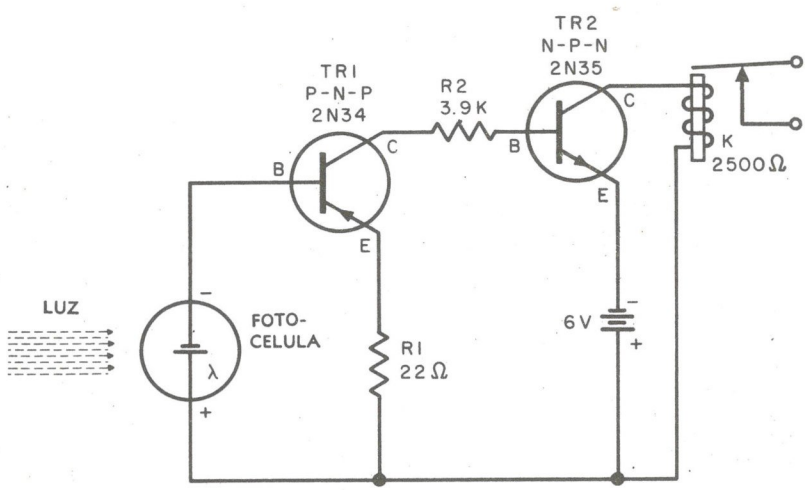


Fig. 4-14. Fotorelay transistorizado con célula solar usando transistores P-N-P y N-P-N en circuito complementario.

el aumento de su corriente de base, aumenta también la corriente emisor colector. Sin embargo, cualquier corriente que circule por el circuito de colector de TR1, constituye la corriente de base de TR2, y el segundo transistor suma su amplificación de corriente al primero. Por lo tanto, la corriente del colector sufre un aumento que permite hacer funcionar el relay.

La resistencia R1 tiene dos efectos:

1) Aumenta la impedancia de entrada de la primera etapa de forma tal que exista una mejor adaptación entre la fotocélula y el transistor.
2) Aumenta la estabilidad del circuito por acción degenerativa, que evita el corrimiento térmico.

Si bien R2 no es esencial en el circuito, actúa como regulador entre ambos transistores, evitando que circule excesiva corriente por la base TR2.

Uso del sonido como fuente de disparo

Por adición de otro transistor y un diodo y realizando algunas modificaciones (Fig. 4-15), además de usar un micrófono en vez de una célula fotoeléctrica para producir el impulso de disparo, el relay electrónico cambia por completo sus características. Se convierte en una "llave sonora" o en un sistema operado por medio de sonidos. Si bien como primera impresión el circuito parecería

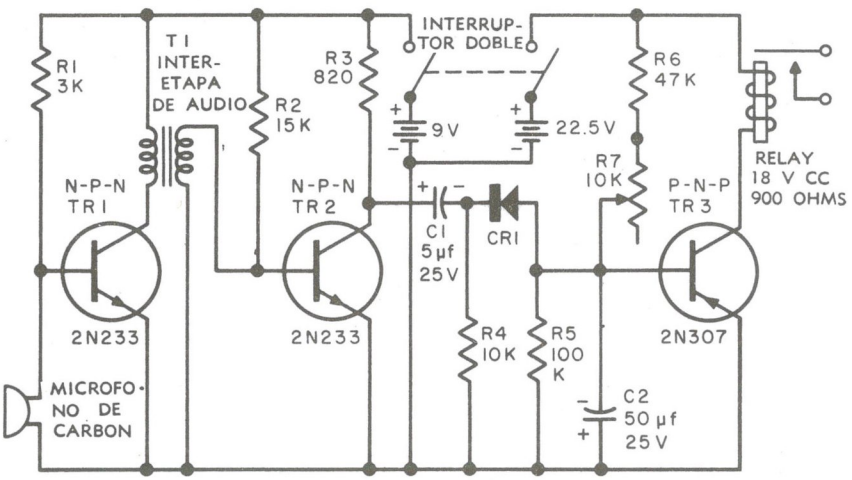


Fig. 4-15. Relay accionado por la voz utilizando tres transistores.

ser más complejo que los precedentes, se lo puede desglosar en etapas muy fácilmente. Cuando se cierra el interruptor, la batería de 9 volts permite la circulación de una corriente a través del micrófono de carbón. La misma batería polariza positivamente la base de TR1, de manera tal que la corriente de base y la del micrófono circulan por R1. Cuando el sonido activa el micrófono, se modula la corriente. Estas variaciones son amplificadas en el circuito de colector y pasan a la base de TR2 por medio de un transformador de acoplamiento, donde el transistor vuelve a amplificarla. La caída de voltaje de audio que se produce sobre R4 es rectificada por el diodo (CR1). Los pulsos unidireccionales provenientes de CR1 cargan a C2, con un potencial que depende del nivel original de sonido en el micrófono. Cuando el voltaje de C2 es lo suficientemente alto como para aumentar la corriente de base

de TR3, aumenta la corriente de colector de este transistor hasta el valor necesario para el funcionamiento del relay. La alimentación del relay se produce a través de la batería de 22,5 volts. Las funciones de los componentes no mencionados, son las siguientes:

R2 – resistencia polarizadora de base para TR2.
R3 – resistencia de carga de colector de TR2.
R5 – parte del divisor de voltaje de bias para la base de TR3, del cual, R6 y R7 constituyen el remanente.
R7 – ajuste del bias de base de TR3; establece la corriente de reposo de colector cuando no hay sonido.
C1 – condensador de acoplamiento; aisla el colector de TR2 (n-p-n, colector positivo) de la base de TR3 (p-n-p, base negativa).
C2 – desarrolla el potencial que aplicado a la base, controla la corriente de colector que circula por el relay. Actúa como estabilizador, evitando el falso contacto del relay para variaciones de audio.

Uso de señales de radio como disparo

El control remoto de cohetes y satélites, así como el de abridores automáticos de puertas para garage, y el control a distancia de aeromodelos, se realizan usando señales de radio para disparar el relay. Se pueden usar válvulas de vacío, thyratrones o amplificadores a transistores como etapas intermedias entre la señal de radio y el relay. Dado que el radio control se usa frecuentemente en equipos móviles, se desprende inmediatamente la adopción de baterías como fuentes de CC. Esto sugiere además el uso de transistores porque su poco consumo los hace ideales para equipos alimentados a baterías.

Para que una onda radioeléctrica pueda ser usada como disparador, debe ser primero detectada (rectificada), para obtener la necesaria salida de CC; otro requerimiento lo constituye el trabajo en una sola frecuencia; es necesario entonces un circuito sintonizado que resuene con la señal transmitida. Las señales de radio que se encuentran en el éter son muy débiles; esto indica que deben usarse relays muy sensibles y circuitos de alta ganancia, pero muy estables. El circuito de la Fig. 4-14, con transistores complementarios, con algunas modificaciones puede resultar muy satisfactorio. Los cambios necesarios son los indicados en la Figura 4-16.

El circuito resonante formado por L y C está sintonizado a la señal de disparo. El voltaje que aparece sobre el circuito resonante es rectificado por el diodo CR, y produce un cambio sobre

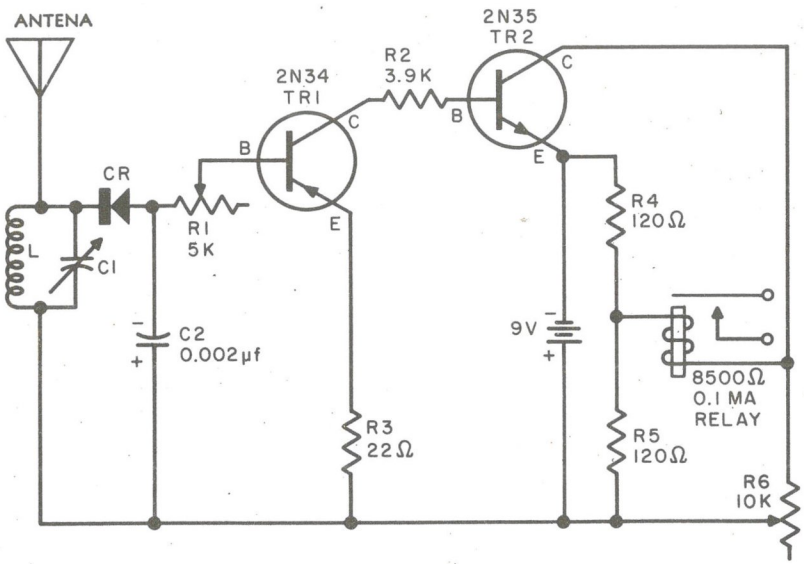


Fig. 4-16. Relay de control radioeléctrico usando transistores complementarios. El relay es de muy poca corriente.

C2, que tiene la polaridad indicada. El condensador se descarga a través de R1 en el medio ciclo no conductor de la onda de entrada, produciendo una pequeña corriente en el circuito base-emisor de TR1, el primer transistor. Se producirá entonces una corriente de colector en TR1 mucho más intensa, y como se explica para la Fig. 4-14, en TR2 se produce una segunda amplificación de corriente. Esta corriente de colector del segundo transistor es la que hace funcionar el relay.

Es necesario explicar el efecto de R4 y R5. El relay usado en este circuito es extremadamente sensible, teniendo una corriente de cierre de 0,1 mA solamente. La corriente normal en el circuito de colector de TR2 es mucho más grande que éste, aun cuando no haya señal aplicada. Si la bobina del relay se conectara directamente en serie con el colector de TR2, éste trabajaría aun sin señal aplicada. Las resistencias R4, R5 y R6, junto con el circuito de colector de TR2 forman un puente en el cual R6 se emplea para equilibrarlo en ausencia de señal de entrada. Esta sección del circuito ha sido re-dibujada en Fig. 4-17 para indicar las posiciones relativas de los componentes del puente.

Con R4 y R5 de resistencias iguales, el voltaje sobre la bobina del relay puede hacerse cero en ausencia de señal de entrada, ajustando R6 hasta que su resistencia iguale a la del camino emisor-colector en TR2. Es decir que este circuito es un simple puente de Wheatstone ajustado para cero. Al variar la resistencia

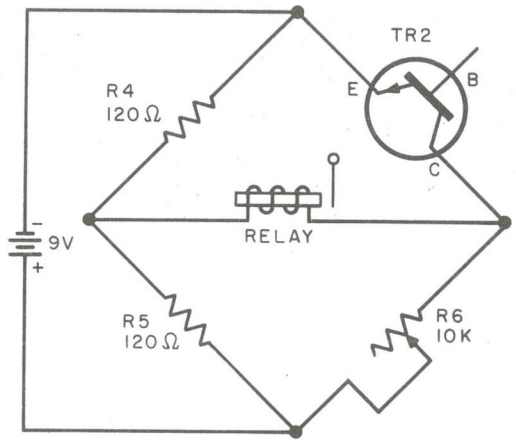


Fig. 4-17. Puente de salida del circuito de la fig. 4-16. La resistencia R6 se ajusta de modo que el voltaje sobre el relay sea cero cuando no hay señal de entrada.

del circuito de colector varía considerablemente la resistencia del puente produciendo el desequilibrio. Esto produce una diferencia de potencial sobre los terminales del relay, que permite su funcionamiento.

CUESTIONARIO

1. Explique el propósito y la acción de un amplificador de CC para alimentar un relay, con una fuente de disparo de baja potencia.
2. ¿Por qué se prefieren los thyratrones en vez de las válvulas de vacío para alimentar relays?
3. ¿Qué se entiende por potencial crítico de un thyratrón? ¿Puede apagarse un thyratrón llevando el potencial de grilla por debajo del valor crítico? Explíquelo.
4. Si se usa una fuente de CA para alimentar un thyratrón, la válvula se apaga cuando el voltaje de grilla se hace más negativo que el valor crítico. Explique por qué este compor-

tamiento es diferente al observado cuando la alimentación se realiza con CA. Use diagrama para guiarse.

5. ¿En qué difiere el thyratrón de cátodo frío, del de cátodo caliente? ¿En qué condiciones elegiría un thyratrón de cátodo frío? ¿Y uno de cátodo caliente?
6. Re-dibuje el circuito de la Fig. 4-7 usando transistores p-n-p, en vez de n-p-n.
7. Explique los tres tipos de sistemas fotosensibles utilizados en relays. Incluya en su explicación las ventajas y desventajas relativas de cada tipo.
8. Haga combinaciones de sistemas fotosensibles con diferentes tipos de amplificadores. Por ejemplo, dibuje diagramas con:
   a) elemento fotorresistivo con amplificador a válvula.
   b) elemento fotovoltaico con thyratrón.
9. Explique la necesidad del rectificador en el circuito de Figura 4-15.
10. Describa la función de C2 en Fig. 4-16.

5. Relays en circuitos de tiempo

Clasificación de los circuitos de tiempo

Los circuitos de tiempo se clasifican en grupos significativos si se considera, porque se los usa en una determinada aplicación y teniendo en cuenta el intervalo de tiempo. Otra clasificación frecuente es la que tiene en cuenta la naturaleza de la fuente de alimentación, por ejemplo, ya sea que el relay es activado por CA o CC, o que la potencia sea grande o pequeña. Dado que cualquier circuito diseñado para CC puede funcionar satisfactoriamente a partir de una fuente de CA, con rectificador y filtros, esta clasificación es de poca importancia, excepto desde el punto de vista de una aplicación específica.

¿Por qué se usan los circuitos de tiempo? En muchos procesos industriales es necesario retardar la aplicación de potencia a una cierta carga (B), hasta que no se ha energizado otra carga (A), por un determinado período de tiempo. Esto se cumple en los grandes rectificadores a vapor de mercurio, en los cuales el filamento debe ser encendido mucho antes de aplicar voltaje al ánodo. Los relays electrónicos que realizan este trabajo se denominan en este capítulo "relays conectores retardados".

Mucho más frecuentes son los circuitos en los cuales la carga se desconecta después de un intervalo de tiempo determinado. Los

circuitos para control de soldadura no son más que dispositivos de esta naturaleza. La corriente de soldadura comienza a circular instantáneamente cuando se opera una llave activante, pero cesa después de un tiempo que puede ser controlado en forma precisa. Este tipo de circuito de tiempo lo denominaremos "relays desconectores retardados", en nuestras discusiones posteriores.

Duración del intervalo de tiempo: Algunas operaciones industriales requieren intervalos de tiempo cuyo rango varía desde una pequeña fracción de segundo hasta varios segundos: algunas otras pueden demandar el uso de circuitos de tiempo cuyo retardo se extienda hasta varias horas. Si bien los circuitos de retardo electrónico se usan en sistemas que necesitan más de uno o dos minutos, indicaremos algunos métodos para su diseño. Las frases "tiempo corto" y "tiempo largo" se usan como términos descriptivos para una mejor identificación del sistema. Entonces, títulos tales como "relay desconector de retardo de tiempo corto" o "conector de retardo de tiempo largo" se explican por sí mismos.

Principios fundamentales del retardo de tiempo electrónico

Los relays de retardo de tiempo se basan en su mayoría sobre el efecto de la descarga de un condensador a través de una resistencia. Supongamos que una fuente de fem, digamos de 100 volts, se conecta a través de una llave a un relay de 1000 ohms (Figura 5-1 [A]). Con el interruptor cerrado circulará una corriente de 0,1 ampere por la bobina; supongamos que ésta es bastante intensa como para mantener baja la armadura del relay, la cual se despega

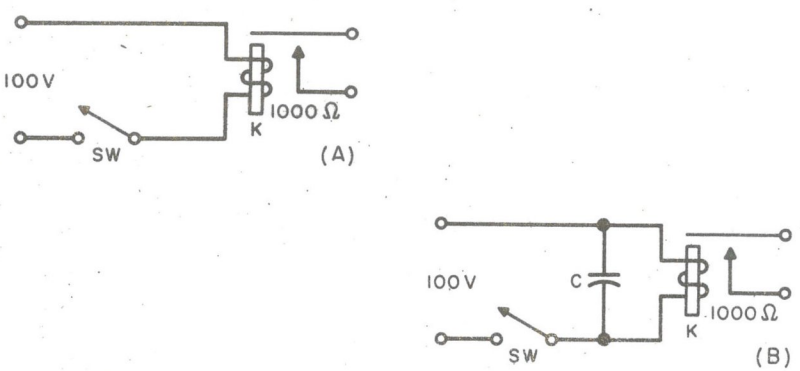


Fig. 5-1. (A) Relay simple en serie con un interruptor; (B) Condensador colocado sobre el relay para actuar como un retardador de tiempo.

cuando la corriente baja a 0,04 A. Al abrir el interruptor, la armadura se despega casi instantáneamente. (El pequeño retardo de tiempo en este caso, es el resultado de la reluctancia del campo magnético que no puede desaparecer en un tiempo cero.) ¿Qué podría hacerse para mantener el relay cerrado en un pequeño intervalo de tiempo posterior a la apertura de la llave? (Por "pequeño intervalo de tiempo" entendemos un período de 1/10 a 1 segundo.) Esta función puede ser realizada por un condensador colocado en paralelo con la bobina del relay (Fig. 5-1 [B])

Cuando se cierra SW, actúa el relay. Al mismo tiempo el condensador se carga con el voltaje de la fuente, en este caso 100 volts. El tiempo necesario para cargarlo totalmente es extremadamente corto, en este circuito, debido a que la resistencia del camino de carga es virtualmente cero. La relación de carga de un condensador, en coulombs, depende de la resistencia del circuito de carga. Si esta resistencia es muy pequeña, rápidamente toma el capacitor la carga máxima. Entonces, en el circuito de la Fig. 5-1 (B) la ausencia de resistencia entre la fuente y el condensador, hace que este último se cargue en un tiempo muy breve (una fracción de segundo).

Cuando se abre la llave en Fig. 5-1 (B), el único camino a través del cual puede descargarse C es el que le ofrece el bobinado del relay. Dado que esta bobina tiene 1000 ohms de resistencia, la relacion de descarga será más baja. El condensador actúa entonces como una fuente que disminuye gradualmente la corriente de retención del relay, manteniéndolo activo por un considerable intervalo de tiempo.

Cuanto más grande es el condensador, mayor es la carga almacenada. Esto significa que la carga es proporcional a la capacidad C. Además, una gran carga disipada a través de una gran resistencia, mantendrá una corriente en ésta por un largo período de tiempo. Se deduce claramente que el tiempo que circula una corriente debida a una carga acumulada es proporcional a R y C. Representado en forma de ecuación:

Tiempo para alcanzar una carga equivalente a 2/3 del voltaje de la fuente = R.C donde R está en megohms y C en μF.

Tiempo de descarga de 2/3 de la carga original = RC

Una mejor forma de establecer esta segunda ecuación es:

Tiempo para llegar a 1/3 del voltaje original sobre el condensador = RC.

Aclararemos mejor estas ideas con un ejemplo numérico: Supongamos que se conecta un condensador de 10μF directamente

sobre la fuente de 100 V, cerrando la llave SW1 de la Fig. 5-2. Sabemos que éste se cargará a 100 volts. Ahora lo hacemos descargar a través de una resistencia de 2 megohms, cerrando SW2 al mismo tiempo que se abre SW1. Si suponemos que el circuito de carga tiene una resistencia de 0,01 ohms, podemos responder a las siguientes preguntas:

1) ¿Qué tiempo se necesita para cargar el condensador a 63 volts, o sea 2/3 (aproximadamente) del voltaje aplicado?
2) ¿Cuánto tardará el condensador en tomar la carga de 100 volts?
3) ¿Qué tiempo se requiere para descargar el condensador totalmente cargado (100 volts) a 37 volts (aproximadamente 1/3 de su voltaje inicial)?
4) ¿Qué tiempo tardará en descargarse totalmente?

Respuestas:

1) El tiempo necesario para cargar el condensador a 63 % del voltaje aplicado, o sea 63 volts, se obtiene por medio de la primera ecuación. Esto es:

$$\begin{aligned}\text{Tiempo para cargar a 63 V} &= \text{R (megohms)} \times \text{C } (\mu\text{F}) \\ &= 0{,}01 \times 10^{-6} \times 10 \\ &= 0{,}1 \times 10^{-6} \text{ segundos} \\ &= 0{,}0000001 \text{ segundos} \\ &= 0{,}1 \ \mu\text{seg.}\end{aligned}$$

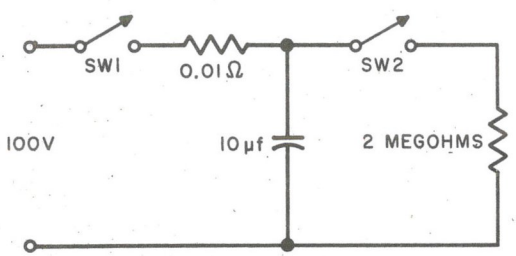


Fig. 5-2. Circuito para describir la accion de un condensador, el cual se opone a cualquier cambio en el voltaje aplicado.

Esta respuesta muestra por qué se carga el condensador casi instantáneamente al 63 % del voltaje aplicado.

2) Durante el siguiente 0,1 μseg., toma un 63 % adicional del voltaje aplicado. Pero, éste es solamente 37 volts, dado que el condensador ya tiene una carga de 63 volts. Recordando que la carga del condensador tiende a igualar al voltaje de la fuente, el valor actual aplicado será la diferencia entre el voltaje de la batería y el potencial acumulado. Tomando el 63 % de 37 volts, vemos que son 23 volts los que se suman a los 63 volts originales, o sea 86 volts. El voltaje neto aplicado (voltaje de la batería menos voltaje acumulado) es ahora de 14 volts. Durante el 0,1 μ segundo siguiente, se suma una carga total de 94,8 volts. Observe que los voltajes que se van acumulando son cada vez más pequeños. Esto sucede porque el potencial del condensador aumenta en un porcentaje fijo, de un voltaje decreciente. Por lo tanto, un condensador no puede cargarse nunca con la totalidad del voltaje aplicado, debido a que siempre hay una diferencia residual muy pequeña, entre los voltajes de la fuente y del condensador, de la cual debe tomarse el 63 %. Al final de cinco períodos de 0,1 μ segundos cada uno, la carga total será aproximadamente del 99 % del potencial aplicado, con lo cual puede considerarse totalmente cargado. Para responder a la pregunta formulada, debemos decir que el condensador se considera cargado a 100 volts después de un tiempo 5R × C, o sea, 0,0000005 segundos.

3) El condensador plenamente cargado (100 volts) se descarga hasta 37 volts en un período determinado por la ecuación:

$$\text{Tiempo de descarga 37 V} = \text{R (meg.)} \times \text{C } (\mu\text{F})$$

donde ahora

$$\text{R} = 2 \text{ megohms}$$

Entonces

$$\text{Tiempo de descarga a 37 V} = 2 \times 10 = 20 \text{ seg.}$$

Esto significa que durante un intervalo de tiempo de 20 segundos, hará circular corriente por la resistencia y aun retendrá 37 volts de sus 100 volts originales al final del período.

4) Empleando idéntico razonamiento al usado en 2), resulta evidente que un condensador cargado nunca se descarga totalmente. Aquí también consideramos que en cinco períodos RC el voltaje del capacitor es lo suficientemente bajo como para considerarlo totalmente descargado. Para este ejemplo, 5 × 20 = 100 segundos que se requieren para descargar totalmente un condensador de 10 microfaradios.

Retardos de tiempo aproximados en la práctica

Supongamos que se arma un circuito como el de la Fig. 5-1 (B) y se necesita conocer qué retardo de tiempo se producirá en la

apertura del relay. ¿Qué datos se necesitará conocer para arribar a una respuesta aproximada, pero certera, a esta pregunta? Los datos necesarios son:

1) Voltaje de la fuente.
2) Resistencia de la bobina del relay.
3) Corriente que despega la armadura.
4) Condensador usado sobre la bobina.

Algunos de estos datos pueden ser suministrados por el fabricante del relay; otros deben ser medidos. En cualquier caso supongamos que éstos son:

1) Voltaje de la fuente ..... 100 volts
2) Resistencia de la bobina del relay (R) ..... 5000 ohms
3) Corriente que despega la armadura ..... 2,7 mA
4) Condensador (C) ..... 40 μF

Lo primero que debemos hacer es determinar qué voltaje permite circular 2,7 mA por la bobina. En otras palabras, se necesita conocer el voltaje mínimo sobre el condensador que mantiene al relay energizado. Para esto usamos la ley de Ohm:

$$Ecc = Icc \times R = 0{,}0027 \times 5000 = 13{,}5 \text{ volts.}$$

Este resultado nos dice que el relay permanecerá energizado todo el intervalo de tiempo en que el voltaje del condensador cae de 100 volts (voltaje inicial) a 13,5 volts (voltaje de despegue).

El paso siguiente es computar el producto RC o constante de tiempo del condensador y la bobina:

$$RC = 0{,}005 \times 40 = 0{,}2 \text{ segundos.}$$

Por lo tanto, en un período de tiempo RC, el voltaje del condensador caerá hasta 37 volts, dado que:

$$100 \times 0{,}37 = 37 \text{ volts, después de } 0{,}2 \text{ segundos}$$

Durante el segundo período RC, el voltaje disminuirá hasta

$$37 \times 0{,}37 = 13{,}7 \text{ volts después de } 0{,}4 \text{ segundos.}$$

Esto nos da la respuesta. Dado que el voltaje de despegue es 13,5 volts, debemos prever un retardo de tiempo de 0,4 segundos antes que se desconecte. Esto se debe a que 13,7 volts equivalen aproximadamente al valor de despegue, que es 13,5 volts.

Si bien existen ecuaciones y curvas exactas para el cálculo de retardos de tiempo, este método aproximado es muy conveniente para determinaciones sin mayor precisión.

Antes de pasar al subtítulo siguiente, es necesario dejar por comprendido esto:

1) Para aumentar el tiempo de retardo, puede aumentarse R o C.
2) Para disminuir el tiempo de retardo, puede reducirse R o C.

Limitaciones del retardo de tiempo a condensador

A primera vista parecería que se puede obtener cualquier tiempo de retardo aumentando simplemente R o C, o ambas simultáneamente. Si bien esto es cierto en teoría, existen ciertas limitaciones prácticas que nos impiden efectuar retardos de tiempo superiores a uno o dos segundos con este método simple.

En lo que respecta al aumento de la resistencia del bobinado del relay, daría como resultado un aparato de costo excesivo, de peso y tamaño indeseables, con la desventaja de tener que aplicar voltajes elevados. Aun los relays comerciales más sensibles, nunca tienen más de 15.000 ohms de resistencia en la bobina. Este valor puede considerarse el límite superior de R. Como dijimos, se puede probar aumentando C, para extender el retardo de tiempo. Pero unos pequeños ensayos con las ecuaciones nos dicen que se necesitan valores prohibitivamente grandes aun para llevar el tiempo hasta 10 segundos. Suponiendo que el relay pueda quedar energizado por dos períodos RC, como en el ejemplo anterior, ¿qué capacidad se necesita para establecer un retardo de 10 segundos con el mismo relay? Para que esto se cumpla, el sistema debe tener una constante de tiempo de 5 segundos. Entonces:

$$5 \text{ (seg.)} = 0{,}005 \text{ (megohms)} \times C \text{ (}\mu\text{F)}$$

$$C \text{ (}\mu\text{F)} = \frac{5}{0{,}005} = 1000$$

$$C \text{ necesaria} = 1000 \ \mu\text{F}$$

y dado que el voltaje aplicado es 100 volts, el condensador debe permitir un voltaje de 150 volts para seguridad. Los condensadores de 1000 μF a 150 volts son difíciles de conseguir, costosos y muy voluminosos. Pero, cuando comenzamos a trabajar con capacidades muy altas, podemos planear el uso de condensadores electrolíticos. La desventaja reside en que los condensadores electrolíticos de alta capacidad tienen resistencia de fuga baja. Esto significa que el condensador se descargará a través de su propia resistencia y de la resistencia de la bobina, reduciendo el tiempo de retardo en un factor que depende de lo baja que es la resistencia de fuga. En suma, los condensadores electrolíticos —por la naturaleza de su estructura— no son apropiados para este trabajo. Además, con el tiempo, cualquier sistema de retardo ideado sobre la base de condensadores electrolíticos, alterará seguramente sus características en forma muy grave. Estas dificultades pueden superarse combinando las características de retardo de tiempo de los sistemas RC, con un relay electrónico a válvulas de vacío o a thyratrones.

Principios de los relays electrónicos con retardo

Conector retardado: Una forma muy simple de conector electrónico retardado es la que se indica diagramáticamente en la Fig. 5-3. El intervalo de tiempo obtenible con un sistema semejante a éste, puede ser ajustado desde una fracción de segundo, hasta varios minutos, cambiando los valores de C y R1. Es de hacer notar que la resistencia de la bobina del relay no tiene ninguna función en el circuito RC, de forma tal que el tiempo puede ser independiente de las características del relay. Una fuente de bias

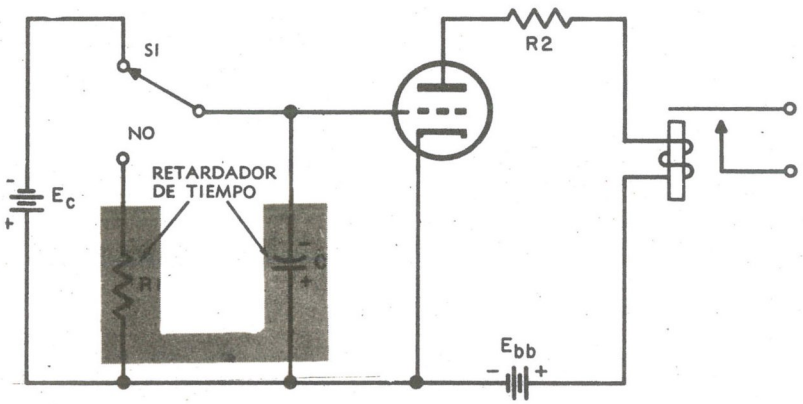


Fig. 5-3. Circuito de apertura electrónica con retardo de tiempo. Los componentes retardadores se hallan en la sección de grilla.

para la válvula, indicada como Ec, carga el condensador C cuando la llave se halla en posición NO, con la polaridad indicada en el esquema. Esto coloca a la grilla a un potencial negativo relativamente alto con respecto al cátodo, llevando la corriente de placa al corte. Con corriente cero en el circuito de placa el relay queda abierto.

Cuando se mueve la llave a la posición SI, la fuente Ec queda desconectada y R1 en paralelo con C. Entonces, C comienza a descargarse acercando lentamente el potencial de grilla al cátodo. Cuando el condensador se ha descargado lo suficiente, comienza a circular corriente de placa por el relay, y éste entra en funcionamiento.

En los circuitos prácticos de conectores electrónicos retardados, raramente se emplean baterías, usándose en cambio CA. Generalmente el sistema emplea un circuito divisor de voltaje para las

tensiones de bias y placa, como veremos luego, en circuitos comerciales.

Desconector retardado: El circuito de la Fig. 5-3 puede ser convertido en un desconector retardado, colocando simplemente la resistencia R1 en una nueva posición. Esta modificación es la que se ilustra en la Fig. 5-4.

Suponiendo que el aparato ha permanecido en la posición NO por algún tiempo, el relay no debe funcionar, dado que la grilla control de la válvula debe haber alcanzado un potencial negativo con respecto al cátodo. Cuando la llave se pasa a la posición SI, cualquier carga que hubiera sobre C se disipa rápidamente, descargándose a través de R3. Esta es una pequeña resistencia de unos 100 ohms que evita que la corriente de descarga sea muy intensa. R3 se coloca en el circuito para evitar un arco excesivo sobre la llave cuando se descarga C. En un intervalo de tiempo muy corto, la grilla disminuye su potencial acercándose al cátodo, y la corriente de placa de la válvula energiza el relay. Cuando se

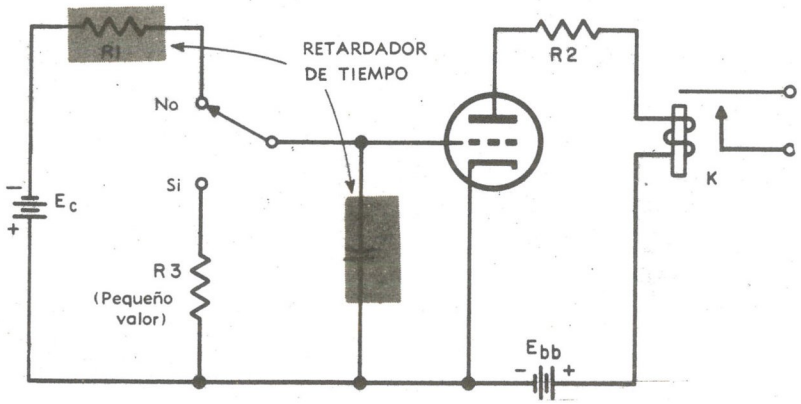


Fig. 5-4. Modificación de la fig. 5-3. El circuito es ahora de cierre. R3 evita el exceso de corriente cuando el relay está abierto.

desea la desconexión, la llave se coloca en la posición NO y C comienza a cargarse lentamente a través de R1, por el potencial suministrado por la fuente Ec. A medida que se carga C, la grilla aumenta su potencial negativo hasta que la corriente de placa disminuye a un valor insuficiente para hacer funcionar el relay. La duración del retardo de tiempo está gobernada por la elección de C y R1, pudiendo controlarse el intervalo desde una fracción de segundo (pequeños valores de C y R1) hasta varios minutos.

Seccionador de tiempo para CC

El circuito desconectador retardado de la Fig. 5-5, está diseñado para cualquier intervalo de tiempo, entre medio segundo y 40 segundos. Este aparato puede ser usado en ampliadoras, en prensas para copias por contacto y en otros procesos fotográficos. También puede emplearse en circuitos de control industrial que requieran períodos de 30 a 40 segundos, sin mucha precisión. Su funcionamiento podemos analizarlo en la siguiente forma:

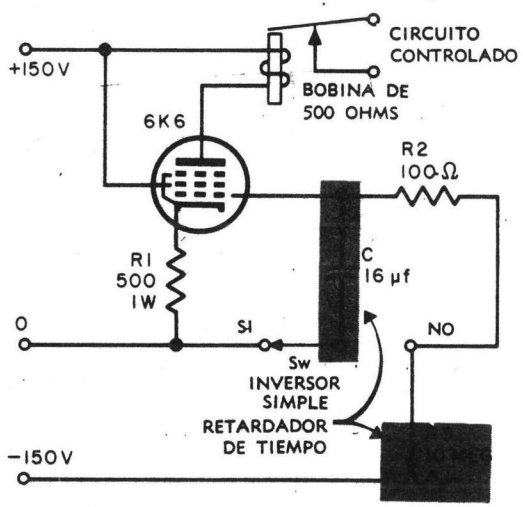


Fig. 5-5. Circuito práctico de seccionador de tiempo. Cuando el interruptor se coloca en la posición " Sí", el condensador comienza a cargarse hasta que lleva la válvula al corte.

Cuando la llave inversora de un polo se encuentra en la posición NO, el potencial — 150 volts de la fuente, se aplica a la grilla control del pentodo 6K6, llevándolo a la condición de corte. Para esta posición el relay no actúa. Dado que no circula corriente de grilla, no hay caída de voltaje sobre la resistencia de 100 ohms, y el condensador C permanece totalmente descargado.

Cuando la llave se coloca en la posición SI, el voltaje de la grilla control cae repentinamente a cero, debido a que la grilla queda desconectada de la línea de — 150 volts. La válvula conduce y energiza al relay comenzando la aplicación de potencia al circuito bajo control, durante un intervalo de tiempo. El condensador C comienza a cargarse gradualmente a través de R3 y R2, aumentando el potencial negativo de la grilla. Cuando C está sufi-

cientemente cargado, la corriente de placa de la 6K6 cae por debajo del valor de trabajo del relay, finalizando el intervalo de tiempo. R3 controla el tiempo de carga y determina el intervalo.

La principal objeción a un circuito de esta naturaleza, es la necesidad de grandes valores de resistencia y condensador de carga. El condensador debe ser de buena calidad, de pocas pérdidas; por lo tanto un electrolítico no puede ser satisfactorio, especialmente cuando los períodos de uso e inactividad son grandes. Si se desea realizar un timmer de precisión, deben evitarse los principios inherentes a este circuito.

Timmer de precisión para largos intervalos

Se puede construir un timmer ingenioso y efectivo, para intervalos superiores a 30 segundos, usando una resistencia de 250.000 ohms y un condensador de 2 μF en vez de los valores tan altos empleados anteriormente. Este circuito es el que se ilustra en la Fig. 5-6. Dado que el condensador de 2 μF en baño de aceite, de buena calidad, es fácilmente obtenible, se puede mantener una precisión relativamente alta por largos intervalos de uso sin cambio de calibración. La utilización de una resistencia de control de tiempo (R2) de valor bajo, permite también una calibración constante, aun con el uso continuado. Las características de este circuito muestran varias facetas novedosas y muy interesantes.

Comenzaremos suponiendo que el condensador C1 está totalmente descargado y que el equipo ha sido desconectado por intermedio de SW1. Después que las válvulas se han calentado, el relay entra en funcionamiento desconectando el circuito controlado. El funcionamiento del relay se produce por las siguientes razones: con C1 descargado no hay bias negativo sobre la grilla de la 50B5, dado que el circuito de placa de la 6AB4 completa el circuito de grilla de la 50B5, colocando la grilla de esta última virtualmente al mismo potencial que su cátodo. Por lo tanto, la 50B5 conduce y energiza el relay.

El intervalo de tiempo comienza presionando SW2 momentáneamente y soltándolo. C1 se carga casi al valor de pico del voltaje de línea, a través de la 35W4, y R1, haciendo que la grilla de la 50B5 tome un alto potencial negativo. El primer efecto es llevar al corte la corriente de placa de la 50B5, abriendo el relay y energizando el circuito controlado. El segundo efecto es que C1 se transforma en la fuente de voltaje de placa para la 6AB4. Esta válvula actúa como un circuito de descarga para el voltaje acumulado en el condensador. Como C1 está totalmente cargado al comienzo de este proceso, la corriente de descarga tiende a ser

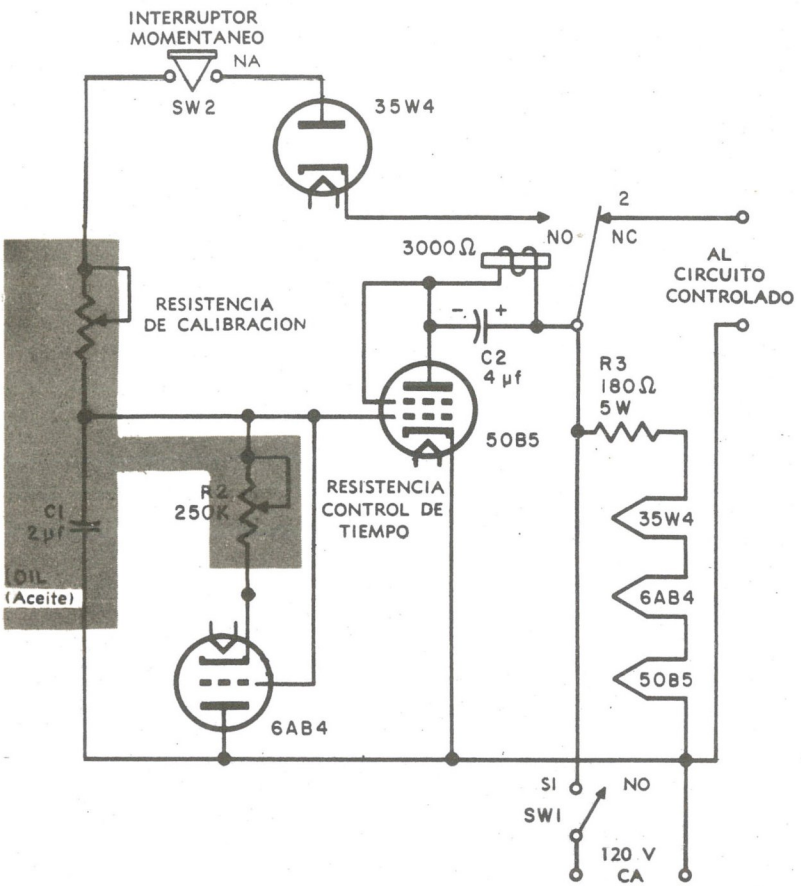


Fig. 5-6. Timmer de precisión usando condensador de aceite para su estabilidad. R2 es el control de tiempo.

alta. Sin embargo, aun una corriente razonablemente alta, circulando por R2 produce una gran caída de voltaje sobre esta resistencia de cátodo, polarizando a la 6AB4 muy fuertemente. Esto a su vez hace que la resistencia de placa del triodo sea muy alta, y la descarga de C1 se produce muy lentamente. En resumen, la válvula se comporta como una gran resistencia de descarga, proporcionando una alta constante de tiempo.

Cuando se produce la descarga, el voltaje sobre C1 disminuye,

haciendo que la corriente de placa de la 6AB4 se reduzca proporcionalmente. Esto da como resultado un bias reducido sobre el triodo, el cual disminuye la resistencia de placa y permite que la corriente de descarga del condensador se mantenga en un nivel relativamente alto. Después que ha transcurrido un tiempo, el condensador se descarga hasta un punto en que la grilla del pentodo 50B5 no es lo bastante negativa para mantener baja su corriente de placa, y entra en funcionamiento el relay, desconectando el circuito controlado.

La gran ventaja de la acción descripta anteriormente puede ser analizada examinando las curvas de la Fig. 5-7. Un condensador que se descarga a través de una resistencia fija, sigue la curva de descarga indicada en (A). Al principio el voltaje cae rápidamente, comenzando a aumentar el tiempo a medida que el condensador se acerca a su descarga total. Una válvula polarizada por este

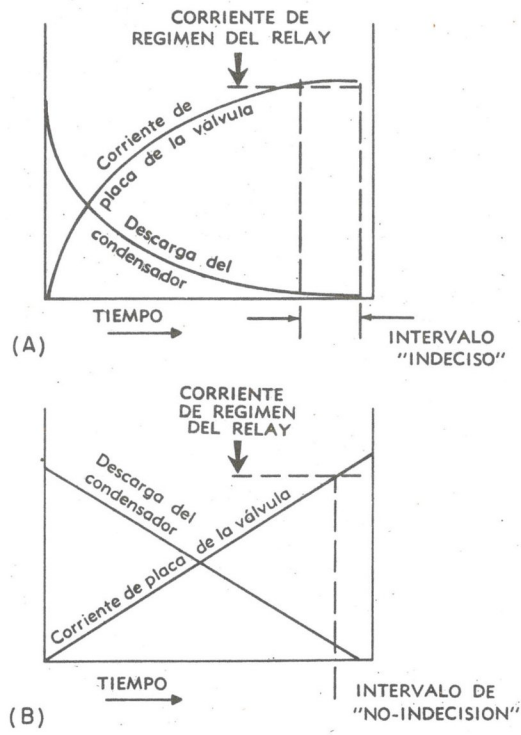


Fig. 5-7. Curvas de descarga del condensador. (A) Descarga a través de un condensador fijo; (B) Descarga a través de la resistencia variable de placa de una válvula.

condensador presentará una variación similar de su corriente de placa; esto significa que la corriente anódica aumenta al principio velozmente, y luego cambia haciéndose más lenta. Si la corriente necesaria para el funcionamiento del relay, tiene un valor que cae dentro de la región plana de la curva, como se indica en la Fig. 5-7 (A), existirá un período de indecisión por parte del relay. Puede operar entonces al comienzo de este intervalo, algunas veces, o al final, dependiendo entonces de factores ambientales, como vibraciones, corrientes de aire, etc. Esta imprecisión disminuye la seguridad del intervalo de tiempo, y por lo tanto no es recomendable.

La Fig. 5-7 (B) ilustra los cambios que se producen como resultado de haber descargado el condensador a través de una resistencia automáticamente variable (circuito de placa), en el cual la resistencia anódica es al principio muy grande y disminuye gradualmente durante la descarga. Este comportamiento degenerativo tiende a rectificar la curva de descarga ideal mostrada en (B). En forma similar, se rectifica la curva de corriente anódica y se mantiene constante la relación del crecimiento de la corriente a través del intervalo de tiempo. Es lógico que esta curva no presente ninguna zona de indecisión. El relay entra en funcionamiento en el momento que se cumple el intervalo de tiempo.

El tiempo se controla por la posición de R2, que cambia el bias instantáneo de la 6AB4, y la resistencia de placa del camino de descarga. La resistencia R1 es un control de calibración inicial que permite ajustar las diferencias existentes al cambiar válvulas. Normalmente sólo se lo ajusta en la primera calibración, si bien puede ser reajustado después de un tiempo para compensar las características de la válvula. El condensador C2 es para evitar zumbidos y R3 es la resistencia de caída de voltaje para los filamentos en serie.

Relay conector con retardo de tiempo para CA

El relay a thyratrón con circuito de retardo de la Fig. 5-8 es un ejemplo excelente de un correcto diseño para CA. Ha sido usado exitosamente en muchas aplicaciones industriales donde son necesarias simplicidad y eficiencia. Cuando se conecta el aparato, el cátodo caliente emite electrones a la grilla control cada vez que ésta tiene un potencial positivo. Nótese que la grilla control está conectada a la línea A, a través de R2, R1 y parte de R3, mientras que el cátodo está conectado a la línea B a través de R4. Esto significa que la grilla se hace positiva con respecto al cátodo durante medio ciclo, período en el cual circula corriente de grilla. Por lo tanto, en pocos ciclos de la CA, el condensador C1 se carga con la polaridad indicada en el diagrama.

Cuando se cierra SW, el cátodo del thyratrón queda conectado a la línea A, mientras que su placa retorna a la línea B a través de la bobina del relay. La carga negativa en la parte superior de C1 evita el disparo del thyratrón. Con SW cerrada, la grilla y el cátodo quedan conectados a la misma línea (A) y C1 no recibe potencial de carga. Comienza entonces a descargarse a través

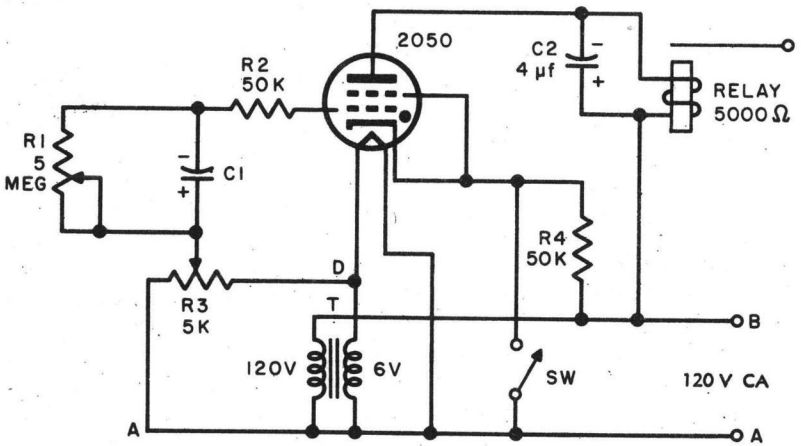


Fig. 5-8. Circuito con retardo de tiempo operado con thyratrón.

de R1, haciendo que el potencial de grilla se acerque al cátodo. Cuando se alcanza el potencial crítico (1,5 a 3 volts negativos en este circuito), el thyratrón dispara energizando el relay.

La llave se abre para desconectar el relay. Ésta desconecta el cátodo de la línea A, dejando abierto el circuito anódico. Dado que ésta es la condición inicial, C1 vuelve a cargarse en pocos ciclos de la CA de entrada, dejando listo el circuito para otra operación, casi inmediatamente.

Consideraremos ahora otro aspecto de este circuito. Hemos visto que C1 es la fuente del potencial de grilla que evita el encendido del thyratrón durante el intervalo de tiempo. A esto se suma un voltaje de CA que proveniente de R3 se superpone a la CC del condensador, dependiendo la magnitud de este voltaje de la posición del cursor de R3. El transformador T está conectado en forma tal que cuando la línea B es positiva, el punto D es negativo. Consecuentemente, el movimiento del cursor hacia D aumenta la componente negativa de grilla en el momento en que la línea B es positiva. Dado que el thyratrón solamente se enciende

cuando B es positiva, el ajuste del cursor permite una sustancial reducción en el componente de voltaje de grilla, que debe aplicarse a C1 para evitar el disparo. Por lo tanto, con valores medios de C1 pueden obtenerse intervalos de tiempo relativamente largos.

Por ejemplo, si se necesita un intervalo de tiempo de 80 segundos, C1 se elige por aproximación al valor necesario y luego se ajusta el cursor hasta que el tiempo de retardo sea de 80 segundos, con R1 colocado en su valor máximo. Después de este ajuste R1 puede variarse para elegir cualquier tiempo de retardo comprendido entre cero y el máximo seleccionado. El bobinado secundario de T debe ser conectado de forma tal que el punto D sea negativo al mismo tiempo que la línea B es positiva.

Relays de retardo térmico

Ciertos relays con retardo de tiempo, basan su funcionamiento en las distorsiones reversibles producidas en ciertas aleaciones metálicas o cintas bimetálicas, por efectos del calor. En la Fig. 5-9 se ilustra un relay de retardo térmico basado en este principio. El modelo ilustrado tiene base octal, con todas sus partes funcionales encerradas en una ampolla de vidrio. Un calefactor bobinado sobre una base cerámica, termina en dos patitas y el contacto móvil y el fijo terminan en otras dos. Cuando se aplica voltaje al calefactor, la energía radiante hace que se curve el bimetal uniendo el contacto móvil con el fijo. Después de un intervalo de tiempo

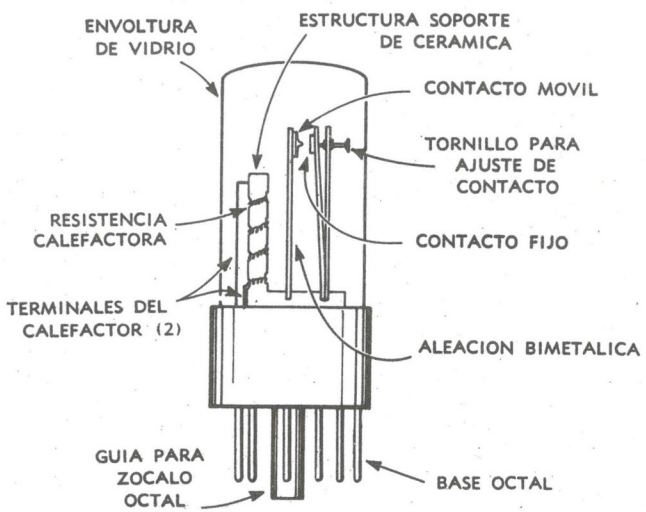


Fig. 5-9. Construcción de un relay térmico de retardo en una ampolla al vacío.

preestablecido se cierra el contacto y se completa el circuito. Cuando se desconecta, se abren los contactos.

Los relays térmicos pueden ser obtenidos para intervalos fijos de tiempo, 2 y 120 segundos, y con resistencias para trabajar entre 6 y 220 volts. También existen con contactos normalmente cerrados.

Los relays de retardo térmico poseen dos desventajas, comparadas con los electrónicos. Primero, el intervalo de retardo en una determinada unidad no es controlable por el usuario. (El tornillo de ajuste que se observa en el dibujo es usado por el fabricante para efectuar retoques finos antes de cerrar la unidad.) Segundo, el tiempo de recuperación es una fracción significativa del intervalo de retardo. Por lo tanto, hay que esperar quizás hasta el 50 % del intervalo de tiempo de retardo, hasta que el relay esté nuevamente listo para su funcionamiento.

CUESTIONARIO

1. Con la ayuda de un diagrama describa la forma más simple de retardo de tiempo, usando solamente un condensador y la bobina del relay. Explique cuidadosamente su funcionamiento.
2. Explique qué papel representa la constante RC de un condensador colocado sobre la bobina de un relay, para determinar el período de tiempo que los contactos permanecen cerrados después que se ha abierto la llave.
3. Usando los principios expuestos, determine el retardo de tiempo en la desconexión de un circuito que tenga las siguientes características:

Voltaje de la fuente	150 volts
Resistencia de la bobina del relay	8000 ohms
Corriente de despegue del relay	2,0 mA
Condensador	20 μF

4. ¿Por qué un simple condensador no es satisfactorio para tiempos de retardo largos?
5. Explique en qué forma un relay con amplificador electrónico salva las dificultades que tiene el simple condensador, cuando se lo usa en intervalos largos.
6. ¿Cuál es la función de R2 en el circuito de Fig. 5-5?
7. Explique cuidadosamente las ventajas que se obtienen usando una válvula como resistencia de descarga para un relay de retardo, como el de la Fig. 5-6.
8. ¿Cuál es la función de la 35W4 en el circuito de la Fig. 5-6?
9. ¿Cuáles son las ventajas del relay de retardo para CA de la Fig. 5-8?
10. ¿Qué se entiende por: conector retardado y desconector retardado? Indique una aplicación para cada tipo.

6. Consideraciones en la selección y aplicación de los relays

Factores que controlan la selección de un relay

El relay electromagnético, si bien es un aparato versátil, sólo se obtiene de él un máximo rendimiento cuando se lo selecciona en forma apropiada al equipo que debe controlar. Los factores que gobiernan sus características son individuales o están interrelacionados unos a otros. La discusión de este tema se puede dividir en cuatro categorías:

1) El sistema de contactos. Este es un tema ampliamente discutido en el Capítulo 2. Con todo, mucho más se puede decir acerca de las características de la fuente, relaciones de corriente, ciclo de trabajo, período de vida y tipos de carga.
2) Sistema actuador. Esta categoría está relacionada con las características de las bobinas, tolerancias, velocidades de operación y factores similares que determinan la performance del sistema actuador.
3) Condiciones ambientales. Un relay debe estar adaptado a sus condiciones ambientales. Se deben tener en cuenta las características de temperatura, humedad, posibilidades de presencia de gases corrosivos o explosivos, polvo, vibraciones, altura y aceleración, al elegir un relay para una aplicación determinada.

4) Necesidades físicas. Como último paso al seleccionar un relay, se deben tener en cuenta factores tales como espacio disponible, tamaño y peso del relay, método de montaje, terminación y caja.

Estas últimas categorías aparecen en el orden de su importancia. La primera función de cualquier relay es su habilidad para conmutar el número de circuitos necesarios; esta habilidad depende, lógicamente, de la selección apropiada de los contactos. El sistema actuador es el segundo en importancia, porque es el sistema que provee la energía funcional necesaria. Cuanto más contactos se agregan, mayor es la energía que la bobina debe transformar en esfuerzo mecánico, y por lo tanto el conjunto de contactos y el sistema actuador están íntimamente relacionados. Los factores ambientales pueden afectar frecuentemente el comportamiento de un relay, especialmente en lo que a su vida útil se refiere. Es lógico que las necesidades físicas son las de menor importancia, dado que frecuentemente pueden llevarse a efecto pequeños cambios para acomodar un relay grande; frecuentemente debe poseer un tipo especial de caja (relacionada con el ambiente), y estos factores determinan su tipo mejor que la clase de terminación.

Sistemas de contactos

Es conveniente que el lector relea la descripción que hemos hecho de los contactos, en el Capítulo 2. En esta sección nos limitaremos a la discusión de temas no tratados en aquel capítulo.

Número de contactos: Cuando revisamos los catálogos de los fabricantes de relays, observamos que hay una tendencia por parte de éstos a colocar mayor número de contactos que el que realmente es necesario para una aplicación definida. La idea es que los contactos extras ocupan muy poco espacio adicional y pueden ser útiles para alguna otra aplicación. Este es un razonamiento impropio. Los contactos extras aumentan la potencia necesaria para hacer funcionar el relay y elevan el costo de la unidad. La complejidad innecesaria tiende además a producir relays menos eficientes que los obtenidos con la misma potencia, si el número de contactos se limita a los necesarios.

Carga operante: Al elegir los contactos, hay algo más a tener en cuenta que la corriente estacionaria que pasará por ellos. Cuando la carga es una lámpara de tungsteno, por ejemplo, debe recordarse que la resistencia fría de esta lámpara es alrededor de 1/10 del valor alcanzado cuando está caliente. Pensamos generalmente que por una lámpara de 200 watts circula 1 amper aproximadamente:

si bien esto puede ser cierto cuando la lámpara trabaja normalmente no lo es en las condiciones iniciales. En este caso la corriente de contacto puede llegar hasta 20 amperes. Por lo tanto se debe tener cuidado al elegir los contactos, y en estos casos deben usarse los de paladio (o materiales similares) que no tienen tendencia a soldarse con corrientes instantáneas muy altas.

Debe notarse también que las capacidades de los contactos se indican casi siempre para cargas no inductivas. Una carga resistiva pura no produce ninguna corriente inversa cuando se abren los contactos. Una inductancia, tal como un motor o un solenoide, pueden producir una corriente muy intensa en el momento de la apertura y el arco formado corroe y oxida los contactos. Cuando la carga es inductiva hay que colocar un relay diseñado para ello. Las especificaciones de los fabricantes de relays son muy claras en este sentido y no existirán problemas si se siguen sus consejos.

Ciclo de trabajo: Las características de los contactos y de la bobina son influidas en gran proporción por la amplitud de tiempo que los contactos permanecen abiertos y cerrados. Esta medida de tiempo se indica como ciclo de trabajo del relay. Por ejemplo, si un relay ha de permanecer cerrado la mayor parte del tiempo (como en el timmer fotográfico visto en Fig. 5-6) y abierto durante períodos relativamente cortos, debe aumentarse el factor de seguridad de la bobina y de los contactos. Una bobina diseñada para 25 mA en intervalos cortos, se recalentará si el relay trabaja en ciclos largos; lo mismo es válido para los contactos.

Como parte del régimen de funcionamiento, es importante pensar en la frecuencia con que opera el relay. Algunos sistemas de contactos fallan después de un corto tiempo si han sido sometidos a un ciclo de aperturas y cierres muy continuados. El mismo contacto puede fácilmente manejar cargas similares por mucho tiempo, si la frecuencia de la conmutación es baja.

Sistema actuador

Fuente de alimentación: Las fuentes más comunes para energizar relays son las líneas de CA, las de CC (cuando se dispone de ellas), las baterías de acumuladores, las pilas secas, circuitos de colector en los transistores y circuitos de placa en las válvulas. Como hemos ya visto, cada una de estas aplicaciones requiere una bobina de resistencia diferente, dependiendo del voltaje que se aplicará a sus terminales.

Para la línea de CA de 220 V, el mínimo voltaje generalmente está en los 180 volts y el máximo en 230 V. Los relays para este servicio deben ser capaces de funcionar en cualquier punto por

encima de los 180 volts y no deben recalentarse con 230 V. Las baterías se manipulan todas generalmente en la misma forma: una batería de acumuladores plomo-ácido, se considera en su voltaje mínimo cuando ha caído un 25 % por debajo del voltaje normal, y puede llegar a tener hasta un 20 % más de su voltaje standard. Las pilas secas no poseen un régimen tan amplio, cuando ha disminuido un 8 % de su voltaje deben ser reemplazadas.

Los relays usados en circuitos de placa de válvulas al vacío deben ser seleccionados mucho más cuidadosamente que los mencionados anteriormente, debido a que están sujetos a un rango más amplio de voltajes y corrientes de operación. Para seleccionar tal relay, es necesario determinar la corriente mínima absoluta que circulará en el circuito de placa en las condiciones más adversas, y elegir entonces un actuador que trabaje en condiciones ligeramente inferiores a éstas. No es conveniente probar relays muy sensibles, dado que pueden seguir funcionando cuando la corriente de placa disminuye al mínimo.

Cualquier estudio de las fuentes de alimentación resultaría incompleto si no se volviera a mencionar la importancia del diferencial. Las relaciones entre la corriente o el voltaje de cierre y apertura, son propias del diseño del relay y de su ajuste. Si en determinadas aplicaciones puede tolerarse un diferencial amplio, es mejor usar un relay que tenga estas características, porque son más fáciles de ajustar y más baratos. Cuando el diferencial es pequeño, el costo del relay aumenta rápidamente. En ciertas aplicaciones se necesitan diferenciales muy reducidos, y puede ser necesario, a veces, mandarlos a fabricar especialmente; es indudable que este es un procedimiento muy caro y debe ser evitado dentro de lo posible.

En lo que respecta a las fuentes de CA, frecuentemente es posible obtener sistemas más eficientes usando relays para CC junto con pequeños rectificadores que les permitan trabajar con la CA. En la Fig. 6-1 puede observarse una unidad comercial que posee rectificador incluido. Si bien es posible conseguir excelentes relays para CA, éstos son menos eficientes, en comparación con su tamaño, que sus equivalentes para CC. Un relay de CC convierte mayor cantidad de potencia eléctrica en potencia mecánica, requerida para hacer funcionar los contactos. Especialmente cuando se deben usar relays miniatura, con alimentación de CA, es siempre preferible emplear pequeños rectificadores junto con relays de CC. Además, los relays de CC poseen una vida más larga que sus equivalentes de CA.

Resistencia de la bobina: Cuando se adquiere un relay para cualquier tipo de servicio, la selección de la resistencia apropiada

de la bobina, es el punto más importante. En el capítulo 2 se ha tratado el problema de la elección de resistencia de la bobina; resumimos ahora aquellas nociones:

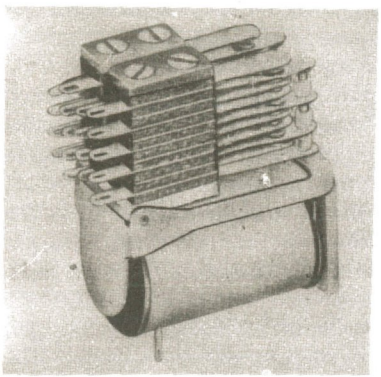


Fig. 6-1. Fotografía de un relay de CC compacto, con rectificador incluido para permitir su funcionamiento en CA Potter y Brumfield.

1) Debe conocerse voltaje y corriente disponible de la fuente de alimentación. Este dato da inmediatamente la máxima potencia de que podrá disponerse.
2) Calcular la resistencia necesaria para la bobina de forma tal que con el voltaje disponible circule menos de la corriente máxima que permite la fuente. Este cálculo se basa en $R = E/I$, donde R está dado en ohms, E en volts e I en amperes. (Se aplica en el ejemplo siguiente).
3) Asegurarse de que el relay funcionará bien con esta corriente, consultando las especificaciones de los fabricantes.

Ejemplo:

1) Una válvula para batería se usa en un sistema de relay foto-eléctrico. La válvula es una 3S4 con un voltaje máximo de placa de 90 volts. En funcionamiento normal, con el bias de grilla recomendado, la corriente anódica es de 7,5 mA. Esto significa que la válvula puede drenar 7,5 mA de corriente de placa en forma continua, sin peligro. Tomemos entonces arbitrariamente, 6 mA como corriente máxima.
2) Refiriéndonos a las características medias de placa de la 3S4 (ver Fig. 6-2), trazamos un punto en la intersección (punto A) de la corriente de placa, igual a 6 mA y del voltaje de grilla Ec, igual a cero. Esto corresponde a bias cero, condición que será hallada en el funcionamiento del relay. Se traza otro punto (B) correspondiente al voltaje de placa, el cual es de 90 volts, y a la corriente de placa, igual a cero.

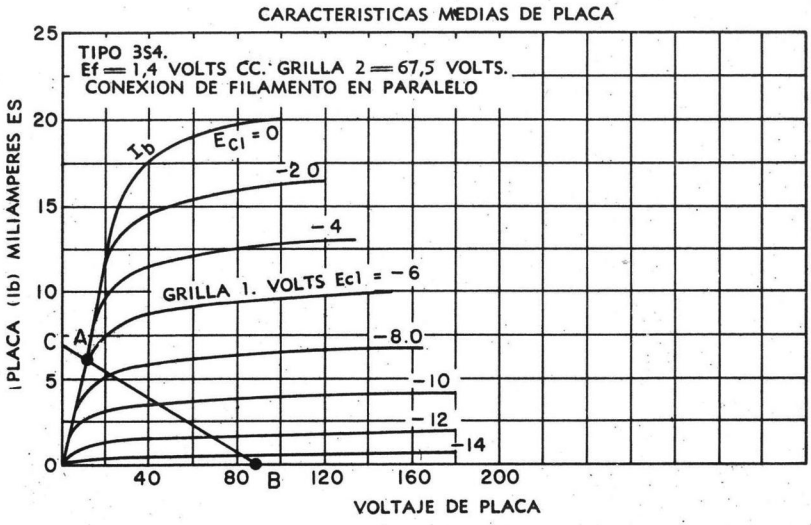


Fig. 6-2. Características de placa de la 3S4. Necesarias para el cálculo del valor apropiado de la resistencia del relay en el circuito anódico

Estos dos puntos se unen por medio de una línea * y se extiende ésta hasta cortar al eje de corriente de placa, que corresponde a voltaje anódico cero. El valor de la corriente en este punto (C), representa el voltaje de la fuente dividido por la carga de placa. En el gráfico este punto cae aproximadamente en 7,3 mA. Entonces:

$$\text{Resistencia de carga} = \frac{90}{7{,}3} \times 10^3 = 12.300 \text{ ohms.}$$

Puede usarse un relay de este valor (12.000 ohms es una buena aproximación).

3) Los relays con estos valores de resistencia funcionan generalmente con 2 a 4 mA. Esto es muy ventajoso, pues la corriente de placa excede este valor en un amplio rango de bias.

Velocidad de operación: La velocidad con que una armadura se cierra o se abre, es a veces una consideración importante en equipos controlados por relay. Los relays standards de tipo medio tienen un tiempo de cierre de unos 20 segundos, mientras que el tiempo de apertura puede ser menor.

* Esta recta se conoce como línea de carga. Para una explicación más detallada sobre ella ver, "Radio básica", volumen 3, de esta misma editorial.

Para aplicaciones especiales es posible obtener relays de acción más rápida que éstos, pero el costo es mucho más alto. Por otro lado, la habilidad del sistema de contactos se reduce apreciablemente cuando la velocidad de operación es mucho más alta que lo normal. Cuando se necesita algún relay rápido para un trabajo especial, es conveniente consultar previamente con los fabricantes.

Condiciones ambientales

Entre los factores ambientales más importantes, uno de los que más se tienen en cuenta al seleccionar un relay, es la temperatura del medio. Dado que la bobina del relay está formada por una gran longitud de alambre, las variaciones de temperatura producirán cambios significativos en la resistencia de la bobina. Por ejemplo, si un relay de circuito de placa, apenas logra cerrar para corriente normal del circuito, cuando se halla a temperatura ambiente, es muy probable que no funcione cuando aumente la temperatura por excesivo uso o por tratarse de un día caluroso. Por lo tanto debe tenerse en cuenta un factor de seguridad al seleccionar la resistencia de la bobina, basado en las variaciones de temperatura que pueden esperarse.

Similarmente, un relay que abre justo cuando la corriente alcanza el mínimo, no podrá hacerlo cuando la corriente ambiente sea muy baja. La resistencia del alambre de cobre disminuye apreciablemente a bajas temperaturas de forma tal que por el relay pasará una corriente suficiente para retener la armadura aun con corriente mínima. Entonces, la extensión del factor de seguridad dependerá también de la mínima temperatura prevista para el funcionamiento.

Atmósfera: Al considerar los efectos de la atmósfera sobre la performance de un relay, es necesario tener en cuenta la humedad, el contenido de polvo y la posibilidad de la presencia de gases corrosivos. En general estos factores afectan tanto a la bobina como al recubrimiento electrolítico de los otros metales presentes en el relay.

Cuando las condiciones atmosféricas son extremadamente malas —es decir que hay mucha humedad, gran cantidad de polvo, y agentes perjudiciales similares— puede ser necesaria una caja protectora o aun una caja de cierre hermético. Éstas serán vistas en la sección siguiente.

Golpes y vibraciones: Se exige a los relays, muchas veces, tener que trabajar bajo severas condiciones de golpes, vibraciones y aceleraciones. El continuo incremento de su uso en las aplicaciones militares, por ejemplo, demanda que los relays puedan trabajar

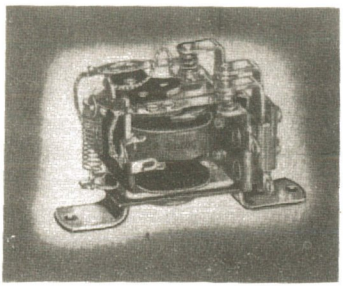
en aceleraciones superiores a 20 G (veinte veces la aceleración normal de la tierra, que corresponde aproximadamente a 9 mts./seg.^{2}) al mismo tiempo que están sometidos a vibraciones de alta frecuencia y amplitud. En los años recientes se han realizado extraordinarios progresos en el diseño de relays. La necesidad de realizar diseños muy especiales se pone en evidencia cuando las condiciones de golpes y vibraciones son severas. Los relays standards no serían satisfactorios para tales usos; es necesario entonces prever la posibilidad de que en casos especiales, se puedan construir. Los ejemplos más comunes de situaciones en las cuales los relays standards tienden a fallar, se hallan en los aeromodelos con radio control, en los cohetes teledirigidos, en los modelos de jets y en los equipos móviles montados en coches que corren a mucha velocidad sobre terrenos malos.

Requerimientos físicos

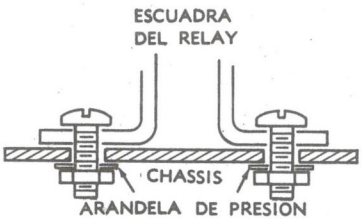
Dejando de lado el hecho de que las limitaciones de espacio frecuentemente caracterizan el tamaño máximo del relay, las características físicas pueden ser muy importantes en otros aspectos.

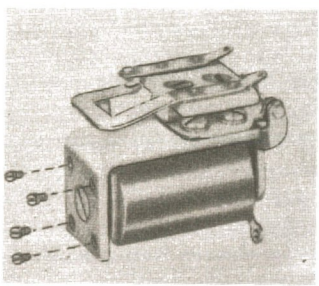
Forma de montaje: Los relays comunes abiertos usan tornillo pasante para el montaje (Fig. 6-3), agujero roscado o perno roscado. En el primer tipo de montaje (A), el relay está provisto de unas expansiones en escuadra en las cuales se han perforado los agujeros, que tienen un diámetro apropiado para pasar tornillos comunes, tales como los de 6/32" de diámetro. El relay se asegura sobre el chasis con tornillos de ¼" de longitud y con arandela y tuerca. Otros relays tienen agujero roscado (B) para roscas normales, de forma tal que el tornillo se coloca por debajo. Los relays con perno roscado requieren un solo agujero en el chassis para pasar el perno, el cual se asegura por debajo con arandela de presión y tuerca.

Un relay es un dispositivo tan falible como una válvula de radio. Muchos circuitos modernos emplean relays que pueden ser reemplazados fácilmente sin necesidad de efectuar soldaduras. Estos relays pueden obtenerse con bases octales, como conectores AN y con terminales rápidamente desconectables, Fig. 6-4 (A); (B); (C). Si bien los relays abiertos son construidos por algunos fabricantes con base enchufable, o con terminales para rápida desconexión, este tipo de construcción está limitado solamente a los relays que utilizan algún tipo de caja o cubierta protectora. Los terminales a los cuales se realizan las conexiones externas se construyen también en varios tipos. Generalmente el método de montaje dicta el tipo de terminal a emplear. Por ejemplo, un relay

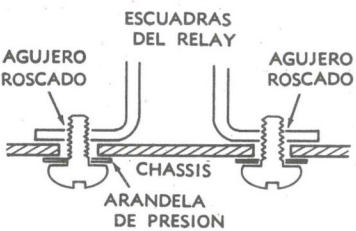


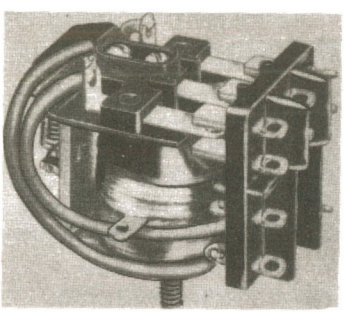
(A)





(B)





(C)

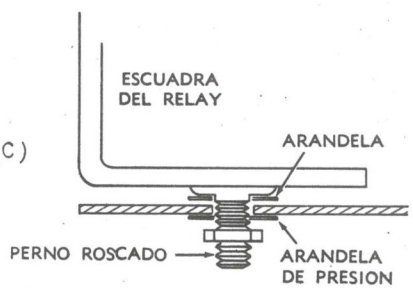


Fig. 6-3. Formas típicas de montaje: (A) Tipo con agujeros pasantes. Fotografía de Potter y Brumfield. (B) Tipo con agujeros roscados. De Guardian Manufacturing Co. (C) Tipo perno roscado. Fotorgrafía de Potter y Prumfield

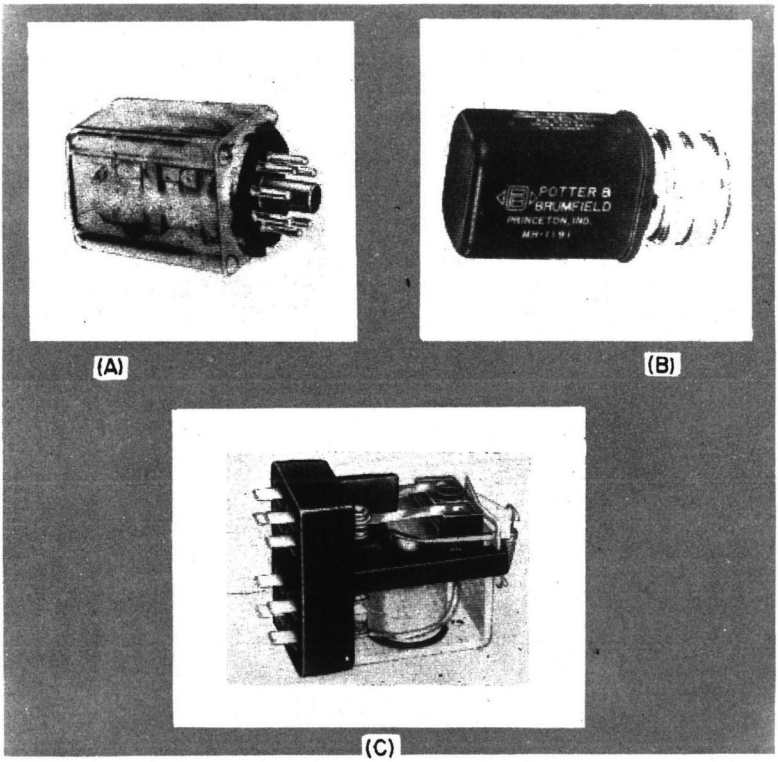


Fig. 6-4: Otros tipos de montajes para relays; (A) Montaje en zócalo; (B) Conector AN; (C) Desconector rápido. Potter y Brumfield.

enchufable en base octal, tiene patitas por terminales, lo mismo es cierto también para los relays enchufables del tipo AN.

Tipos de terminales: Además de los que ya hemos mencionado, muchos relays abiertos tienen tornillos por terminales o éstos son del tipo para soldar, como puede observarse en la Fig. 6-5 (A) y (B). El tipo atornillable se encuentra en muchos aparatos, sobre todo de diseño antiguo. Los terminales soldables son aun mucho más populares porque representan el método más seguro para realizar la conexión, cuando el costo debe ser bajo. Las patitas enchufables, ya sea para los zócalos octales como para el tipo AN, pueden realizar un contacto muy seguro y positivo, sobre todo si usan grampas para sujetar el relay en su posición y protegerlo de

falsos contactos debidos a vibraciones y aceleraciones. Estos terminales son los más convenientes, pero también los más caros.

Otro método de montaje y distribución de terminales, que está siendo ampliamente aplicado, es la variedad para circuitos im-

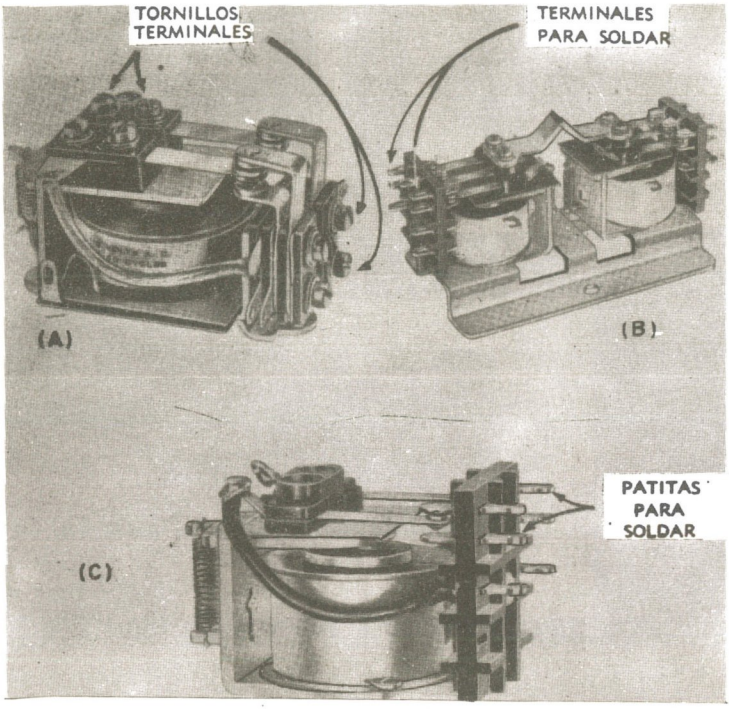


Fig. 6-5. Conexiones de terminales de relays: (A) Con tornillos; (B) Con terminales para soldar; (C) Relay sobre circuito impreso con patitas para soldar. Advance Relays.

presos (Fig. 6-5 [C]). Estos relays van provistos de terminales especiales para ser montados sobre placas impresas. La conexión de estos terminales se realiza con las técnicas de soldaduras por inmersión.

Cajas protectoras: Las cajas de protección para estabilizar la temperatura ambiente y proteger las partes metálicas, van desde las simples cubiertas, como en Fig. 6-6 (A), hasta las cajas herméticamente cerradas de Fig. 6-6 (B). Los diseñadores prefieren las cajas simples cuando las condiciones no son particularmente severas; para uso militar, en equipos navales y en los que fun-

cionan a grandes alturas, frecuentemente se precisa usar cajas herméticamente cerradas.

Generalmente se piensa que la vida útil de un relay se extiende por medio del cerrado hermético. En la actualidad esto no es del todo cierto. Durante el uso, la atmósfera dentro del recinto cerrado tiende a contaminarse con los productos de la vaporización de los materiales empleados en la construcción del relay. En algunos casos esta atmósfera artificial acelera la destrucción química, co-

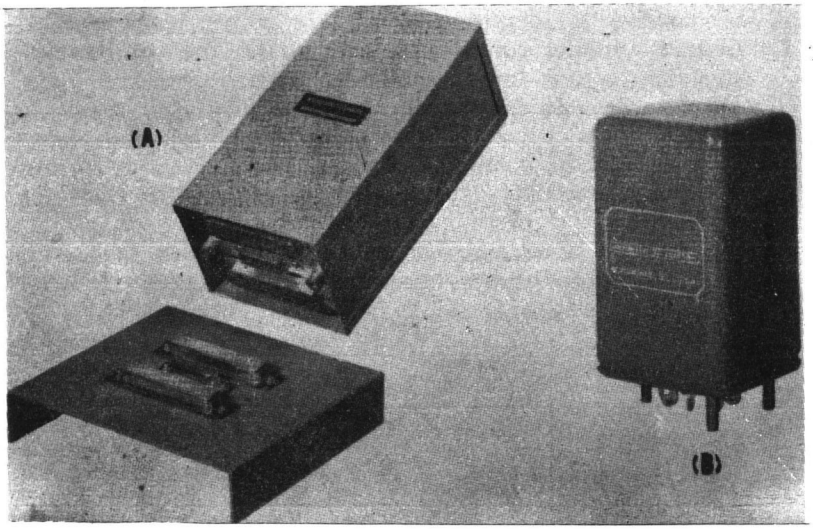


Fig. 6-6. Cajas protectoras típicas: (A) Para protección de polvo; (B) Herméticamente sellada. Automatic Electric.

rroyendo contactos y resortes. Esto reduce considerablemente la vida del relay. No obstante, el cierre hermético es usado aun en equipos militares porque asegura un funcionamiento eficiente durante un período conocido de tiempo. Por otro lado, es más conveniente planear el uso de un relay abierto, o uno con cubierta simple, siempre que lo permitan las condiciones ambientales, a hacerlo con relays de cierre hermético.

CUESTIONARIO

1. Nombre y describa los cuatro factores que deben ser considerados al seleccionar un relay para una aplicación específica.

2. Explique por qué razón no se debe usar un relay que posea más contactos que los necesarios.
3. ¿Por qué se reduce la capacidad normal de los contactos cuando se los usa con carga inductiva?
4. ¿Qué se entiende por ciclo de trabajo de un relay? ¿Por qué el ciclo de trabajo es una consideración importante al elegir el relay?
5. ¿En qué forma difiere la potencia entre un relay para usar con una batería de 24 volts y otro diseñado para 120 V CA?
6. ¿Cuál es la velocidad normal de apertura y cierre en los relays standards?
7. Nombre aquellas condiciones ambientales que pueden ser perjudiciales en el funcionamiento y longevidad del relay. En cada caso describa el remedio ideado por los fabricantes.
8. ¿Cuáles son las ventajas y desventajas del montaje enchufable frente al montaje por medio de tornillos?
9. ¿Por qué se consideran aún los terminales soldables como los más seguros?
10. ¿Por qué no se recomienda el cierre hermético del relay, excepto en condiciones atmosféricas extremadamente desfavorables?

Índice

Actuados, sistema, 90, 92, 95
Abridores para puertas de garage, 69
Acción reversible, 23
AN, conector, 97
Arco, supresión:
  condensador, 44
  diodo rectificador, 44
  resistencia, 43
Armadura, 2
Armadura de hierro, 9
Auxiliar, relay, 24

Bobina, resistencia de la, 4, 94

Campo magnético estacionario, 43
Cátodo frío, thyratrón, 61, 64
CC, amplificador, 51
CC, relay polarizado, 37
Ciclo de trabajo, 92
Circuitos para altas corrientes, 27
Complementario, circuito, 67
Condensadores, supresores de arco, 44
Constante de tiempo, 36

Contactos:
  capacidad, 42
  contacto retardado, 18, 26
  cntacto retardado, 18, 26
  doble apertura, 28
  doble acción, 28
  materiales, 8
  protección, 42
  punto de fusión, 8
  sistema, 90, 91
Control, circuitos, 74

Corriente:
  capacidad, 8
  diferencial, 9, 11
  relación, 31
Corriente de corte, 77
Corrientes intensas, relays para, 29
Crítico, potencial, 53

De-energizado, condición, 19
Diferencial, 13
Disparo, fuente de, 54
Disparo, potencial de, 53

Electromagnética, bobina, 9
Electromagnético, relay, 2, 90
Energización de la bobina del relay, 4, 7
Enganche de la armadura, 19

Fotocélulas, 60
Fotoeléctrtico, control, 27
Fotorelay con batería solar, 60
Fotoresistivo, 60

Fotosensitivo:
  aparatos, 60
  receptores, 25
Fotovoltaico, 60
Fuentes de corriente intensa, 92
Fuente de voltaje, 77

Inductiva, reactancia, 7
Inductores, 7
Interruptor doble, relay, 19, 24
Inversor doble, relay, 21
Inversor simple, relay, 17
Invertida, conexión, 46
Intervalo de tiempo, 73, 83

Ladrones, alarma para, 24, 65
Luz, relays operados con, 60
Luz, resistencias sensibles a, 13

Media onda, rectificadores, 37
Montaje, métodos de, 97

No-inductivos, carga, 9, 92

Núcleo de hierro, 2

Onda completa, rectificador puente, 36

Operación, velocidad, 95
Oxidación, 8

Pestillo eléctrico para puertas, 24
Polarización de relays de CC, 37
Potencia, disipación de, 13
Potencia, fuentes de, 92
Potencia, necesidades de, 32
Potencia, relays de, 19
Puente rectificador para relays de CC, 36, 37

Relay:
  armadura, 9
  auxiliar, 24
  contactos, 7, 8, 36
  corriente, 5
  electrónico, 49
  interruptor, 19, 24
  inversor, 17
  máxima disipación de potencia, 14
  máximo voltaje, 14
  polarización, 37
  resistencia de la bobina, 77
  retardo de tiempo, 79
  thyratrones, 54, 56
Relay conector retardado para CA, 74, 81
Relays electrónicos, clasificación, 51, 52
Remoto, control, 40
Resistencia de fuga, 79
Retardo de tiempo aproximado, 77, 78
Retardo electrónico, 80, 81
Retardo, períodos, 83, 86

Restitución, 26

Selectivos, relays, 37, 40
Seleniuro de cadmio, fotocélula, 61
Sellado hermético, 101
Señales de radio como disparo, 67 91
Sonido como fuente de disparo, 6

Temperatura, sensible a:
Temperatura, alarma, 55
  circuitos, 7
  resistencia, 6, 56, 58
Terminales, tipos, 99
Termistores, 56, 58
Thyratrón, relay electrónico, 54, 5
Timmer de precisión para largos in tervalos, 83, 86
Timmer para ampliadora, 82
Trabajo, ciclo, 92
Transistor, 51
Transistor thyratrón, 51
Transistorizado, relay, 59, 60

Válvulas de vacío, relays a, 46, 4
Voltaje:
  dobladores, 41
  multiplicadores, 4
  triplicadores, 41

Wheatstone, puente de, 71

Zumbido:
  supresores, 41, 57, 86
  condensador, 33
  rectificadores invertidos, 35, 3
  rectificadores puentes, 36

Otras obras técnicas publicadas por EDITORIAL GLEM S. A.

Santiago del Estero 1269 — Buenos Aires (Argentina)

PROYECTOS CON TRANSISTORES (Transister Projects), por GERNSBACK LIBRARY. (2ª edición).

TRANSISTORES Y DIODOS MODERNOS. Fundamento de los semiconductores (Fundamentals of Semiconductors), por M. G. SCROGGIE. (2ª edición).

CIRCUITOS IMPRESOS (Printed Circuits), por MORRIS MOSES. (2ª edición). (Enc.)

REPARACION PRACTICA DE TELEVISORES (Practical TV Trouble-shooting), por GERNSBACK LIBRARY. (3ª edición).

FALLAS EN TV. Service de urgencia (TV Trouble Analysis), por HARRY MILEAF. (2ª ed.)

FALLAS DE SINCRONIZACION EN TV. Análisis y reparación (How to Trouble shoot TV sync circuits), por IRA REMER. (2ª edición).

AIRE ACONDICIONADO PARA EL HOGAR Y LA OFICINA (Home Air Conditioning), por JOSEPH DERMAN, FLOYD MAKSTEIN y HAROLD SEAMAN. (2ª edición).

CURSO BASICO DE RADIO (Basic Radio), por MARVIN TEPPER. 6 Vol. (2ª edición).

Volumen 1: Electricidad C.C.
„ 2: Electricidad C.A.
„ 3: Válvulas electrónicas y circuitos
Volumen 4: Receptores de AM y FM
„ 5: Transistores
„ 6: Trasmisores

REPARACIONES BASICAS DE RADIO (Basic Radio Repair), por MARVIN TEPPER. 2 Vol

PRINCIPIOS BASICOS Y APLICACIONES DE LOS RELAYS (Basic principles and applications of Relays), por HARVEY POLLACK.

OSCILADORES BASICOS (Basic oscillators), por IRVING M. GOTTLIEB.

FUNDAMENTOS DE UHF (Fundamentals of UHF), por ALLAN LYTEL.

TRANSISTORES BASICO (Basic Transistors), por ALEXANDER SCHURE.

COMO UTILIZAR LOS "GRID-DIP-METTERS". Medidores por corriente de grilla. (How to use Grid Dip Oscillators), por RUFUS P. TURNER.

ELECTRICIDAD Y ELECTRONICA. Resolución de problemas de. (Electricity and Electronics, how to solve problems in), por HENRY JACOBOWITZ.

INSTRUMENTOS ELECTRONICOS. Es fácil usar (Electronic test equipment. It's easy to use) por LARRY KLEIN y KEN GILMORE.

CURSO BASICO DE ARMADO DE RADIOS A TRANSISTORES, por A. GIORDANO (Enc.)

CURSO BASICO DE INSTRUMENTOS PARA MEDICIONES ELECTRICAS, por CARLOS MIRAGLIA. (Enc.).

CURSO BASICO DE MOTORES ELECTRICOS (Basic Course of Electrical Motors), por ALAN SMITH.

MANUAL UNIVERSAL DE VALVULAS Y REEMPLAZOS (Enc. plástico) 3ª edición.

MANUAL UNIVERSAL DE TRANSISTORES Y REEMPLAZOS (Enc. plástico) 2ª edición.

CURSO BASICO DE T.V. (con T.V. en colores), por JOHN BROW). (Enc.).

CURSO BASICO DE DIBUJO TECNICO, por HENRY FOSTER. (Enc.).

SERVICE DE GRABADORES (How to service tape recorders) por C. A. Tuthill (enc.).

SISTEMAS DE ENCENDIDO A TRANSISTORES (Transistor Ignition Systems) por M. Tepper.

PARLANTES Y BAFFLES DE ALTA FIDELIDAD (Hi-Fi loudspeakers and enclosures) por ABRAHAM B. COHEN (Enc.)